



VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie



Vliv čistoty povrchu substrátu na korozní odolnost nátěrového systému

Disertační práce

Studijní program:	P2301 Strojní inženýrství
Studijní obor:	2303V002 Strojírenská technologie
Školitel:	doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc., prof. h. c.
Doktorand:	Ing. Miroslav Hanák, ING.PAED.IGIP

Ostrava 2016

ANOTACE DISERTAČNÍ PRÁCE***VLIV ČISTOTY POVRCHU SUBSTRÁTU NA KOROZNÍ ODOLNOST
NÁTĚROVÉHO SYSTÉMU***

Disertační práce je zaměřena na aktuální problém vlivu čistoty povrchu substrátu na korozní odolnost nátěrového systému.

Teoretická část práce uvádí dosavadní poznatky vlivu úpravy povrchu substrátu a jeho čistoty na odolnost proti koroznímu napadení před a po aplikaci nátěrového systému. S otázkou čistoty povrchu substrátu souvisí i přítomnost ulpělých prachových částic, které reagují zejména s vlhkostí. Poněvadž jsou preferovány ekologické, vodou ředitelné nátěrové systémy, je předpoklad, že prachové částice ulpělé na povrchu substrátu v reakci s vodou se mohou chovat hydrofilně nebo hydrofobně s uplatněním principu flotace. Dále je uvedena problematika nátěrových systémů obsahující nanočástice, které ovlivňují nejen jejich vlastnosti jako je zabarvení, ale zejména jejich korozní odolnost.

Experimentální část práce je zaměřena na ověření vlivu hydrofobních a hydrofilních částic na korozi substrátu pod aplikovaným nátěrovým systémem. Z výsledku laboratorních zkoušek vyplývá, že hydrofilní částice silně ovlivňují korozní proces substrátu, který je chráněn vodou ředitelným nátěrovým systémem.

ANNOTATION OF THE DISSERTATION***INFLUENCE OF CLEANNES SURFACE ON CORROSION RESISTANCE OF COATING SYSTEM***

The present dissertation focuses on the topical issue of the effects of substrate surface purity on the corrosion resistance of a coating system.

The theoretical part of the dissertation sums up current knowledge of the effects of surface treatment of the substrate and its purity on resistance to corrosion attack before and after the application of a coating system. The purity of the substrate surface is closely associated with the presence of dust particles stuck on the surface, which react, in particular, with moisture. Considering the fact that preference is generally given to environmentally-friendly and water-dilutable coatings, it can be assumed that dust particles stuck on the substrate surface, when reacting with water, may show hydrophilic or hydrophobic behaviour by involving the principle of flotation. Furthermore, issues relating to the coating systems containing nanoparticles, which exert influence not only on the properties such as coloration, but mainly on the corrosion resistance of the coatings, are presented here.

The experimental part of the dissertation gives focus to the verification of the effects of hydrophobic and hydrophilic particles on the corrosion of a substrate under the applied coating system. The results of laboratory tests indicate that hydrophilic particles have a strong effect on the corrosion process of the substrate that is protected with water-dilutable coating system.

OBSAH

1	ÚVOD	17
2	ZÁKLADNÍ POZNATKY	18
2.1	Chemická koroze	18
2.2	Elektrochemická koroze	21
2.3	Korozní faktory elektrochemické koroze	22
2.4	Elektrochemická ušlechtilost kovů	22
2.5	Pasivní stav kovu	23
2.6	Atmosférická koroze	23
2.7	Atmosférické korozní prostředí	24
2.8	Vliv pH na korozi	25
3	POVRCH	27
3.1	Integrita povrchu	27
3.2	Mikrogeometrie povrchu	28
3.3	Hodnocení geometrie povrchu	28
4	ÚPRAVA POVRCHU SUBSTRÁTU PŘED APLIKACÍ NÁTĚROVÉHO SYSTÉMU	31
4.1	Chemická úprava povrchu substrátu	31
4.1.1	Odmašťování	32
4.1.2	Moření	32
4.2	Mechanická úprava povrchu substrátu	33
4.2.1	Otryskávání	33
4.2.2	Broušení, kartáčování, leštění	34
5	NÁTĚROVÉ SYSTÉMY	35
5.1	Složení nátěrových systémů	35
5.2	Technologie aplikace nátěrových systémů	35
6	PŘÍČINY VZNIKU VAD NÁTĚROVÉHO SYSTÉMU	36

6.1	Prachové částice	36
6.2	Povrchové napětí.....	39
6.3	Solvatační strukturní interakce	41
6.4	Flotace	44
6.5	Vliv pěnové flotace při aplikaci nátěrového systému	46
7	NANOTECHNOLOGIE A VLASTNOSTI NANOPOVLAKŮ	47
7.1	Rozdělení nanoobjektů.....	47
7.2	1 dimenzionální nanoobjekty.....	47
7.3	2 dimenzionální nanoobjekty.....	49
8	FORMULACE PROBLÉMU	50
9	CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	51
10	METODIKA EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ	52
11	CHARAKTERISTIKY VSTUPNÍCH MATERIÁLŮ	55
11.1	Substrát	55
11.2	Značení experimentálních vzorků	56
11.3	Příprava hydrofilních a hydrofobních částic	58
11.4	Hodnocení prachových částic technické křídly	59
11.4.1	Suché hydrofilní prachové částice křídly	59
11.4.2	Hydrofilní prachové částice křídly v kontaktu s vodou	60
11.4.3	Suché hydrofobní prachové částice křídly	62
11.4.4	Hydrofobní prachové částice křídly v kontaktu s vodou	63
11.5	Hodnocení prachových částic cihly	65
11.5.1	Suché hydrofilní prachové částice cihly	65
11.5.2	Hydrofilní prachové částice cihly v kontaktu s vodou	67
11.5.3	Suché hydrofobní prachové částice cihly	68
11.5.4	Hydrofobní prachové částice cihly v kontaktu s vodou	70
11.6	Hodnocení prachových částic získaných z povrchu otryskaného substrátu .	71
11.6.1	Suché prachové částice z otryskaného substrátu	72

11.6.2 Prachové částice z otryskaného substrátu v kontaktu s vodou	73
11.7 Aplikace prachových částic na substrát	75
11.8 Hodnocení nátěrového systému pro experimentální práce	75
11.9 Aplikace nátěrového systému	76
12 POPIS EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK	77
12.1 Vizuální hodnocení čistoty povrchu po otryskávání dle ČSN EN ISO 8501-1	77
12.2 Hodnocení zaprášení povrchu dle ČSN ISO 8502-3	78
12.3 Měření drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 4287	79
12.4 Stanovení tloušťky mokré a suché vrstvy nátěrového systému dle ČSN EN ISO 2808	80
12.5 Měření přilnavosti nátěru křížovým řezem dle ČSN EN ISO 16276-2	81
12.6 Měření přilnavosti mřížkovou zkouškou dle ČSN EN ISO 2409 a ČSN EN ISO 16276-1	82
12.7 Korozní zkouška solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227	83
12.7.1 Hodnocení defektů a intenzity změn vzhledu nátěrů dle ČSN EN ISO 4628-1	83
12.7.2 Hodnocení stupně puchýřkování nátěrů dle ČSN EN ISO 4628-2 . .	84
12.7.3 Hodnocení stupně prorezavění nátěrů dle ČSN EN ISO 4628-3	84
12.8 Korozní zkouška v kondenzační komoře dle ČSN 03 8131	85
13 HODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK	87
13.1 Hodnocení čistoty povrchu substrátu po otryskání dle ČSN EN ISO 8501-1	87
13.2 Hodnocení čistoty povrchu substrátu po otryskání dle ČSN EN ISO 8502-3	87
13.3 Měření drsnosti substrátu dle ČSN EN ISO 4287	89
13.3.1 Měření drsnosti substrátu po otryskání bez odprášení	89
13.3.2 Měření drsnosti substrátu po otryskání a odprášení	91
13.3.3 Měření drsnosti substrátu po aplikaci prachových částic	92
13.3.4 Stanovení tloušťky mokré a suché vrstvy nátěrového systému dle ČSN EN ISO 2808	93
13.3.5 Hodnocení parametrů drsnosti Rz experimentálních vzorků před aplikací nátěrového systému	94

13.4	Přilnavost nátěru hodnocení křížovým řezem dle ČSN EN ISO 16276-2 ..	99
13.5	Přilnavost nátěru hodnocení mřížkovou zkouškou dle ČSN EN ISO 2409..	101
13.6	Korozní zkouška solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227	103
13.6.1	Hodnocení korozní zkoušky v solné komoře	104
13.6.2	Metalografické hodnocení vzorků po korozní zkoušce v solné komoře	109
13.7	Korozní zkouška v kondenzační komoře dle ČSN 03 8131	111
13.7.1	Výsledky korozní zkoušky v kondenzační komoře	112
13.7.2	Povrch substrátu po korozní zkoušce v kondenzační komoře	115
13.7.3	Studium nátěrového systému na rozhraní substrát nátěrový systém po korozní zkoušce v kondenzační komoře	117
13.7.4	Chemická analýza vzorku na fázovém rozhraní substrát nátěrový systém po korozní zkoušce v kondenzační komoře	118
14	MĚŘENÍ MAGNETIZAČNÍCH KŘIVEK KOROZNÍCH ZPLODIN EXPERIMENTÁLNÍCH VZORKŮ K02 A K03 PO ZKOUŠCE V KONDENZAČNÍ KOMOŘE	125
15	ZÁVĚR	129
16	SPOLEČENSKÝ PŘÍNOS	133
17	CONCLUSIONS	134
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	138
	PUBLIKACE AUTORA	143
	SEZNAM PŘÍLOH	147

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ A ZKRATEK

Přehled použitých veličin

<i>Znak</i>	<i>Veličina</i>	<i>Jednotka</i>
At	Atomová hmotnostní procenta prvku	[%]
E	Polarizační potenciál	[V]
E_h	Elektrický potenciál	[V]
j_a	Anodická proudová hustota	[A.m ⁻²]
j_k	Katodická proudová hustota	[A.m ⁻²]
L	Základní délka měřeného úseku	[mm]
M	Molekulová hmotnost oxidu	[mol]
Me	Specifická hmotnost oxidu	[mol]
Ra	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu	[μm]
Rku	Špičatost posuzovaného profilu	[-]
Rp	Nejvyšší výška výstupku profilu	[μm]
Rsk	Šikmost posuzovaného profilu	[-]
Rq	Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu	[μm]
Rv	Největší hloubka prohlubně profilu	[μm]
Rz	Nejvyšší výška profilu	[μm]
V_{Me}	Objem kovu obsažený v 1 molu oxidu.	[mol]
V_{MeA}	Molekulární objem oxidační vrstvy	[mol]
Wt	Váhová hmotnostní procenta prvku	[%]
γL	Povrchová energie kapaliny	[J/m ²]
γLG	Povrchová energie na rozhraní plyn - kapalina	[J/m ²]
γLS	Povrchová energie na rozhraní kapalina - tuhý povrch	[J/m ²]

Přehled použitých zkratk

<i>ZKRATKA</i>	<i>NÁZEV</i>
ČSN	Česká státní norma
DFT	Tloušťka suchého povlaku nátěrového systému
EDAX	Mikroanalýza pomocí RTG záření
EN	Evropská norma
e	Elektron
ISO	Mezinárodní norma

n	Valence kovu
pH	Kyselost
PB	Pillingovo-Betworthovo číslo
λ_c	Filtr profilu - rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti
SEM	Skenovací elektronový mikroskop
VOC	Volně těkavé organické látky

Přehled přehled použitého chemického značení

<i>ZNAK</i>	<i>CHEMICKÝ NÁZEV</i>
Al	Hliník
Al₂O₃	Oxid hlinitý
Ca	Vápník
Cl	Chlór
Cu	Měď
CuO	Oxid měďnatý
Fe	Železo
FeO	Oxid železnatý
Fe₂O₃	Oxid železitý
Fe₃O₄	Oxid železnato-železitý
HNO₃	Kyselina dusičná
H₂O	Voda
H₂SO₄	Kyselina sírová
HCl	Kyselina chlorovodíková
KCl	Chlorid draselný
O₂	Kyslík
Na	Sodík
NaCl	Chlorid sodný
NiO	Oxid nikelnatý
NH₃	Amoniak
NO	Oxid dusný
NO₂	Oxid dusnatý
S	Síra
SO₂	Oxid siřičitý
Ti	Titan

Zn	Zinek
ZnCl₂	Chlorid zinečnatý

1 ÚVOD

V současné době díky globální ekonomice dochází k rozvoji obchodování s rozměrnými kovovými součástmi, které se přepravují k zákazníkům na velké vzdálenosti. Jedná se především o rozměrné kovové součásti pro stavbu produktovodů v oblasti ropného průmyslu, těžebního průmyslu a podobně. Vlivem různých povětrnostních vlivů při přepravě součástí dochází k jejich koroznímu narušování a znehodnocení, což je neakceptovatelné při přejímce zboží koncovým zákazníkem. Takto znehodnocené kovové součásti se vrací dodavateli nebo jsou v místě přejímky nákladně odstraňovány vzniklé vady výrobcem kovových součástí.

Pro eliminaci koroze kovových součástí vlivem přepravy k odběrateli, která může být v trvání tří až šest měsíců, jsou některými výrobci aplikovány na povrch součástí konzervační prostředky nebo transportní nátěrové systémy pro krátkodobou protikorozní ochranu. Ve většině případů dosahuje tloušťka suché vrstvy 100 až 200 μm podle obsahu sušiny a typu nátěrového systému. Většina nátěrových systémů obsahuje velké množství volně těkavých organických látek (VOC), které negativně ovlivňují životní prostředí. V souladu se směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2004/42/ES o omezení emisí těkavých organických sloučenin (VOC) jsou vyvíjeny nátěrové systémy s nižším obsahem VOC, kde rozpouštědlovou složku tvoří zejména voda, tzv. vodou ředitelné nátěrové systémy a které v rámci vývoje mohou obsahovat nanočástice ovlivňující jejich tloušťku, korozní odolnost, adhezi, barevný odstín apod.

Na základě výše uvedené problematiky eliminace koroze kovových součástí při transportu, řeší disertační práce protikorozní ochranu vodou ředitelným transparentním transportním nátěrovým systémem s obsahem nanočástic, který se po aplikaci na kovovou součást dostává do kontaktu s nečistotami typu prachových částic, které zůstaly na povrchu po předúpravě kovové součásti. V současné době jsou vyvíjeny nanopovlaky, odpuzují prachové částice a nečistoty z jejich povrchu, které jsou v kontaktu s vnějším prostředím. Disertační práce řeší problém vlivu prachových částic ulpělých na povrchu substrátu na korozní a adhezní vlastnosti aplikovaného transportního transparentního nátěrového systému. Současně s problematikou koroze vlivem prachových částic pod aplikovaným nátěrem je předmětem experimentálních prací vliv technické popisové křídly, která se uplatňuje na popisy kovových dílců pro transport a následnou montáž na místě určení. Koroze, která vzniká pod popisovou technickou křídou je v současné době prioritou řešené problematiky, neboť tato koroze znehodnocuje popis a ovlivňuje technologii montáže.

2 ZÁKLADNÍ POZNATKY

Koroze je samovolný proces, který znehodnocuje substrát vlivem působení okolního prostředí. Tyto reakce mají fyzikálně chemický charakter a poškozují strukturu konstrukčního materiálu. Nejčastější případ koroze kovů má chemický charakter. Oblast korozních činitelů působících na kovy lze rozdělit do třech základních skupin. [8]

- a) Koroze vyvolané působením plynů za zvýšené teploty.
- b) Koroze vyvolané působením roztoky elektrolytů.
- c) Koroze vyvolané fyzikálním rozpouštěním železných, neželezných kovů a ostatních materiálů.

Koroze se projevuje

- Korozním přírůstkem nebo korozním úbytkem.
- Znehodnocení povrchu substrátu korozními zplodinami.

Druhy koroze

- chemická
- elektrochemická

2.1 Chemická koroze

Chemická koroze způsobuje rozrušování povrchu vlivem působení vnějšího prostředí, například působení vlivem plynů, vzduchu a podobně. Rychlost chemické reakce ovlivňuje teplota. Například za přítomnosti korozního plynu vznikají oxidační povlaky na rozhraní plyn kov, které jsou nazývány korozními zplodinami. Oxidační účinek plynu závisí na chemických a termodynamických vlastnostech. Plyny mohou mít buď oxidační, nebo redukční účinek. Nejběžnějším plynem, který způsobuje oxidaci je kyslík. Vlivem působení kyslíku vzniká na povrchu kovových materiálů vrstva reakčního produktu. [1]

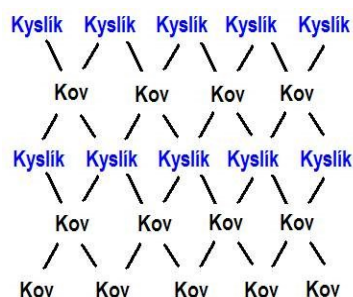
Mnoho kovů, které vykazují přirozenou, termodynamickou schopnost ke vzniku koroze, má za určitých podmínek poměrně značnou stabilitu. Je to způsobeno bržděním korozní reakce, tvorbou korozních produktů, nejčastěji oxidů na povrchu korodujícího

kovu. Povrch se tak pasivuje. Pasivační vrstva kovu nabývá zpravidla do 10 nm a chrání kov před dalším intenzivním postupem korozního napadení. Viz obr. 1. Vznik pasivační vrstvy je hlavní příčinou korozní odolnosti korozivzdorných ocelí, hliníku, titanu ve vodních prostředích. Porušením pasivační vrstvy například chemickým působením, nebo mechanicky, může vznikat lokalizované korozní poškození. [7]

U neušlechtilých a méně ušlechtilých kovů oxidická vrstva propouští kyslík a tím tak proniká do hlubších vrstev kovu. U první monomolekulární vrstvy se kyslík naváže na povrch kovu a vznikne oxidická vrstva se slabou vazbou. Vlivem slabé vazby dochází k přeskupení oxidační vrstvy. Kyslík proniká do větších hloubek s nárůstkem oxidické vrstvy. Viz. obr. 2.



Obr. 1 Chemisorbovaná vrstva



Obr. 2 Oxidická vrstva

Nejčastěji probíhá korozní proces na rozhraní kov - plyn nebo kov - kapalina.

- Korozi v oxidačně působících plynech - vzduch, kyslík, síra, vodní pára halogeny. Při oxidaci reagující kov ztrácí valenční elektrony podle vztahu (1):



- Korozi v redukčně působících plynech - vodík, amoniak, metan, směsí vodíku atd. Redukce je děj, při které reagující látka získává elektrony. Není to jen redukce kovových kationů $Me^{n+} + n.e \rightarrow Me$ [6], nýbrž i například přechod kyslíku ze stavu atomárního na ionizovaný (2): [6]



Na rychlost tvorby a růst vrstvy má vliv kinetika reakcí probíhajících na fázových rozhraních:

- a) kov - vrstva
- b) vrstva – atmosféra

nebo difuze elementárních částic vytvořenou vrstvou kde o výsledné rychlosti růstu vrstvy rozhoduje děj, který je nejpomalejší. Vrstvu tvoří nekovová fáze. [6]

Pro korozi vyvolanou plyny je charakteristická tvorba vrstev iontových a valenčních sloučenin na povrchu kovu. Charakteristická tvorba monomolekulární vrstvy iontových a valenčních sloučenin na povrchu kovů, kde další průběh oxidace je závislý na této monomolekulární vrstvě a jejího rozhraní okolím, nejčastěji s plynem. Zda bude oxidační vrstva bránit v rozvoji další oxidaci vyjadřuje Pillingovo-Bedworthovo pravidlo. Pravidlo vyjadřuje poměr molekulárního objemu oxidační vrstvy V_{MeA} a atomového objemu kovu $V_{Me} = M/\rho$. (3) [4]

$$PB = \frac{V_{MeA}}{V_{Me}} \quad (3) [5]$$

Pokud $PB < 1$

Oxidační vrstva netvoří souvislý povrch substrátu. Oxidační vrstva má malé ochranné vlastnosti, protože obsahuje trhliny a mezery. Vrstva nemá ochranný charakter.

Pokud $PB \geq 1$

Vzniká souvislá oxidační vrstva, která má ochranné vlastnosti. [6]

Pokud $PB >> 1$

Oxidační vrstva je nestabilní, vzniká velké vnitřní pnutí. PB hodnoty pro vybrané kovy jsou uvedeny v tab. 1.

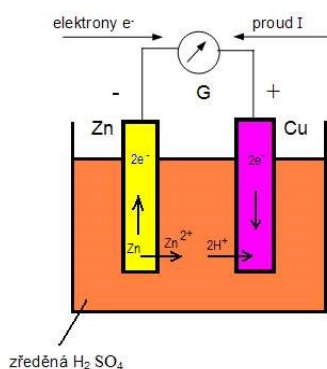
Tab. 1 PB hodnoty vybraných kovů [6]

Kov	Oxid	PB
Al	Al ₂ O ₃	1,28
Ni	NiO	1,64
Cu	Cu ₂ O	1,71
Fe	FeO	1,80
Fe	Fe ₃ O ₄	2,12

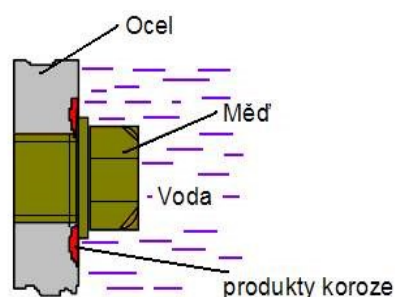
2.2 Elektrochemická koroze

Elektrochemická koroze probíhá za přítomnosti elektricky vodivého prostředí. Mechanismus koroze je podobný chemickým dějům uvnitř galvanického článku viz. obr.3. Pro vznik elektrochemické koroze musí být splněny podmínky:

- Přítomnost vodivého elektrolytu.
- Existence míst substrátu s rozdílným elektrickým potenciálem.
- Místa musí být spojeny nakrátko.



Obr. 3 Galvanický článek



Obr. 4 Korozní makročlánek

Elektrochemická koroze zahrnuje dva druhy reakcí:

- *Anodická reakce.* Anodická reakce odpovídá vlastní oxidaci kovu. (4)

$$\text{Pro železo: } \text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \quad \text{M} \rightarrow \text{M}^{n+} + \text{n}^- \quad (4) [26]$$
- *Katodická reakce.* Jedná se o redukční děj depolarizačního charakteru, který urychluje korozi. (5)

$$\text{Pro železo: } \text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \quad \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} \quad (5) [26]$$

Obě reakce jsou na sebe neoddělitelně vázány. Rychlost reakce je pak vázána chemickými pochody jednotlivých reakcí. Na obr. 4 je zobrazen příklad korozního článku. Méně ušlechtilý kov s nižším potenciálem tvoří anodu a ušlechtlejší kov s vyšším potenciálem tvoří katodu. Důsledkem je pak rozpouštění ušlechtlejšího kovu na úkor kovu méně ušlechtilého.

2.3 Korozní faktory elektrochemické koroze

Korozní proces je ovlivňován celou řadou různých faktorů, které lze dle charakteru rozdělit do dvou základních skupin. Jsou to faktory vnitřní, které mají souvislost s korodovaným kovem a faktory vnější, které souvisí s agresivitou prostředí.

K vnitřním faktorům patří hlavně chemické složení a struktura korodovaného kovu, stav povrchu kovu, napěťové vztahy, jejich hodnota a charakter.

Mezi vnější faktory jsou zařazovány - teplota elektrolytu, obsah látek, které zrychlují nebo zpomalují korozní reakci, samotný pohyb elektrolytu, pH elektrolytu a další. [4]

2.4 Elektrochemická ušlechtilost kovů

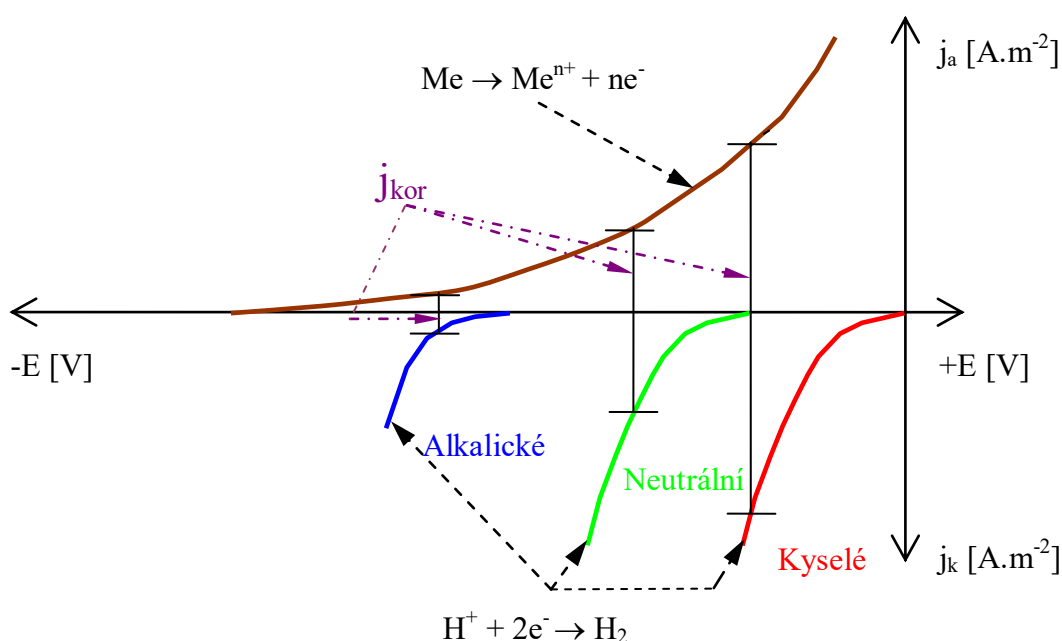
Standardní potenciál charakterizuje elektrochemickou ušlechtilost kovů, snahu přecházet do iontového (oxidovaného) stavu a uvolňovat elektrony. Ušlechtilé kovy se standardním potenciálem pozitivnějším (+), mají tuto snahu menší než méně ušlechtilé kovy s negativnějším (-) standardním potenciálem. Potenciály kovů nemají absolutní význam a mohou být srovnány pouze vzájemně mezi sebou. Za nulu je přijat potenciál standardní vodíkové elektrody. Je to platina potažená platinovou černí, která je sycena čistým vodíkem o tlaku 98,0665 kPa, ponořená do roztoku kyseliny o aktivitě vodíkových iontů rovné jedné. [4] V tab. 2 jsou uvedeny příklady elektrochemické ušlechtilosti kovů.

Tab. 2 Příklady elektrochemické ušlechtilosti kovů [6]

Prvek	Standardní potenciál [V]
Au	1,36
H	0,00
Ni	- 0,23
Fe	- 0,28
Al	- 1,33
Mg	- 2,34

2.5 Pasivní stav kovu

Pasivní stav kovu je vyvolán vznikem povrchové oxidické pasivační vrstvy, buď vlivem oxidačního účinku prostředí, nebo polarizací vnějším zdrojem stejnosměrného proudu s požadovaným potenciálem takovým, aby anodická proudová hustota j_a a katodická proudová hustota j_k splňovala podmínku rovnosti ($j_a = -j_k$). Tuto podmínku lze zjistit ze závislosti anodické a katodické hustoty proudu na polarizačním potenciálu $+E$, z polarizační křivky. Viz obr. 5. Rovnováha katodické a anodické proudové hustoty závisí na chemické aktivitě prostředí. [7]



Obr. 5 Polarizační křivka kovu

2.6 Atmosférická koroze

Atmosférická koroze je proces vznikající na povrchu kovu za přítomnosti vlhkosti. Atmosférická koroze se vyskytuje v největším rozsahu. Hlavním činitelem je zde dané klimatické prostředí charakterizované především teplotou, vlhkostí, znečištěním a podobně. Tímto je dán chemický i elektrochemický charakter koroze. Korozní děj probíhá pod tenkou vrstvou vody (50 - 150 μm), v které jsou rozpuštěny složky atmosféry. Tenká vodní vrstva vzniká kondenzací vodních par. Pokud je povrch kovu drsný a pokrytý prachovými částicemi, vzniká na povrchu kovu vodní vrstva při relativní vlhkosti 60 %. Atmosférická koroze se zastavuje zmrznutím elektrolytu

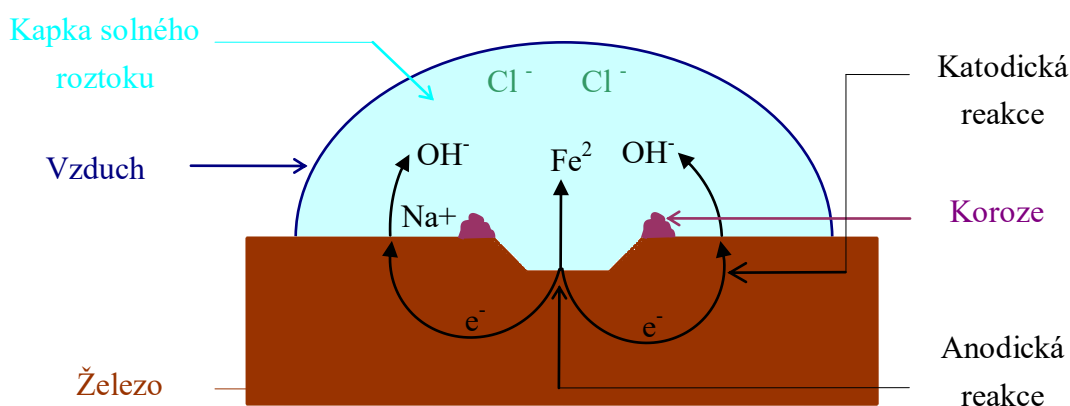
a urychluje se zvyšující se teplotou. Princip atmosférické koroze je znázorněn na obr.6.
(6) (7) (8) (9)

Pro železo platí: $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ (6) [26]

Anodická reakce: $\text{M} \rightarrow \text{M}^{n+} + \text{n}\text{e}^-$ (7) [26]

Katodická reakce: $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ (8) [26]

Koroze: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{H}_2\text{O}$ (9) [26]



Obr. 6 Schématické znázornění dějů probíhajících pod kapkou solného roztoku na železném povrchu.

2.7 Atmosférické korozní prostředí

Kovy, slitiny a kovové povlaky mohou podléhat atmosférické korozi, jsou-li jejich povrchy ovlhčeny.

Povaha a stupeň napadení závisí na vlastnostech povrchových elektrolytů, zejména ve vztahu k úrovni, druhu plyných a pevných znečištění atmosféry a k době, po kterou tyto elektrolyty působí na kovovém povrchu. Údaj o korozní agresivitě atmosféry má základní význam pro odvození a specifikaci optimální korozní ochrany výrobků. Stupeň korozní agresivity je technickým údajem, který je základní informací pro výběr materiálů a systémů ochrany pro atmosférická prostředí s přihlédnutím ke způsobům použití. Zejména k požadované životnosti systému ochrany či výrobku. [39] Rozdělení korozního prostředí dle normy ČSN EN ISO 9223 je uveden v tab. 3.

Tab.3 Rozdělení korozního prostředí dle ČSN EN ISO 9223 [39]

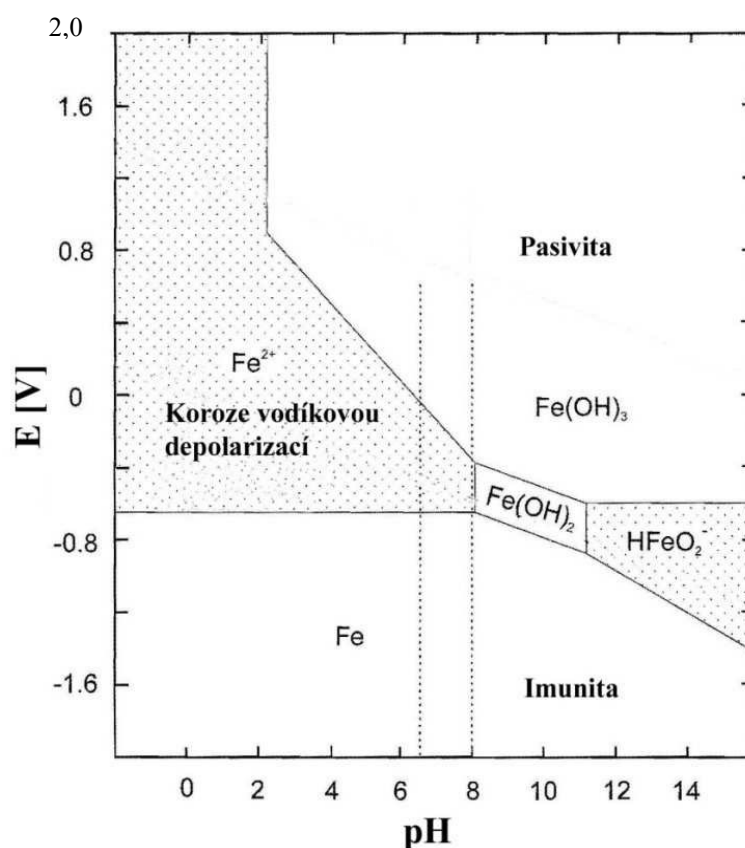
Stupeň korozní agresivity	Korozní agresivita	Typická prostředí	
		Vnitřní	Venkovní
C1	Velmi nízká	Vytápěné prostory s nízkou relativní vlhkostí a nevýznamným znečištěním.	Suché nebo chladné klimatické pásmo, atmosférické prostředí s velmi malým znečištěním.
C2	Nízká	Nevytápěné prostory s měnící se teplotou a relativní vlhkostí, malou četností kondenzace a znečištěním.	Mírné klimatické pásmo, atmosférické prostředí s malým znečištěním. ($\text{SO}_2 < 5 \mu\text{g} / \text{m}^3$)
C3	Střední	Prostory se střední četností kondenzace a středním znečištěním z výrobních procesů.	Mírné klimatické pásmo, atmosférické prostředí se středním znečištěním ($\text{SO}_2 5 \mu\text{g} / \text{m}^3$ až $30 \mu\text{g} / \text{m}^3$)
C4	Vysoká	Prostory s velkou četností kondenzace a velkým znečištěním z výrobních procesů.	Mírné klimatické pásmo atmosférické prostředí s velkým znečištěním ($\text{SO}_2 30 \mu\text{g} / \text{m}^3$ až $90 \mu\text{g} / \text{m}^3$)
C5	Velmi vysoká	Prostory s velmi vysokou četností kondenzace a nebo s velmi velkým znečištěním z výrobních procesů.	Mírné a subtropické klimatické pásmo, atmosférické prostředí s velmi vysokým znečištěním. ($\text{SO}_2 90 \mu\text{g} / \text{m}^3$ až $250 \mu\text{g} / \text{m}^3$)
CX	Extrémní	Prostory s téměř neustálou kondenzací nebo rozsáhlými obdobími působeními extrémní vlhkostí nebo velkým znečištěním z výrobních procesů.	Subtropické a tropické klimatické pásmo. Atmosférické prostředí s velmi vysokým znečištěním SO_2 . (více než $250 \mu\text{g} / \text{m}^3$)

2.8 Vliv pH na korozi

Anodická reakce rozpuštění kovu je vždy doprovázena současnou redukcí nějaké složky prostředí (depolarizační reakcí). Při různé dostupnosti kyslíku dochází ke vzniku článku s různou areací (ovzdušněním). Článek s různou areací může vznikat jak na povrchu kovu, tak na dvou oddělených elektrodách ze stejného materiálu spolu vodivě spojených, které jsou ponořeny do roztoku elektrolytu lišícího se pouze koncentrací rozpuštěného kyslíku.

Na obr.7. je Pourbaixův diagram, který znázorňuje všechny reakce a reakční

produkty, které se nacházejí v systému po ustanovení rovnováhy. V oblastech, kde jsou stabilní rozpustné ionty příslušného kovu, kov aktivně koroduje (v oblasti koroze). Kov se může zapasivovat v oblastech stability nerozpustného oxidu nebo hydroxidu (oblast pasivity). Oblasti, kde je stabilní kov jako takový, není koroze termodynamicky možná (oblast imunity). Pourbaixovy diagramy jsou konstruovány pouze pomocí termodynamických veličin, nelze tedy žádným způsobem usuzovat na korozní rychlost, na rychlost, s jakou se tvoří pasivní film, případně jak rychle bude koroze probíhat po zapasivování. V této souvislosti je nutné zdůraznit, že vzniklý oxid nebo hydroxid nemusí mít ochranné vlastnosti. Diagram lze využít k odečítání napětí potřebného ke katodické nebo anodické ochraně. Při katodické ochraně se na chráněný kov vkládá potenciál zápornější než je jeho korozní potenciál, čímž lze převést kov do oblasti imunity. Anodická ochrana je možná pouze u kovů, u kterých existuje na potenciálové ose přechod mezi aktivní a pasivní oblastí. Kov, nacházející se v oblasti koroze, lze tedy anodickou polarizací převést do pasivní oblasti, a tím snížit jeho korozní rychlost. [29]



Obr. 7 Pourbaixův diagram pro Fe. [30]

3 POVRCH

Všechny předměty ohraničuje jejich povrch. Charakteristickým znakem je zde styk dvou fází s okolním prostředím. Dochází zde ke styku například s fází pevnou kapalnou nebo plynnou. Povrch tak odděluje těleso od okolního prostředí.

3.1 Integrita povrchu

Integrita povrchu je proto odrazem podmínek, za kterých funkční plocha vzniká, bere v úvahu důsledky působení technologických metod na jakost obrobené plochy a dává je do vztahu k funkčním požadavkům na celý výrobek. Je i statisticky doloženo, že většina poruch strojních součástí za provozu vzniká na povrchu, nebo těsně pod ním. [19] Dle tab. 4 lze vlivy ovlivňující integritu povrchu rozdělit na vnitřní a vnější.

Tab. 4 Přehled vlivů ovlivňujících integritu povrchu.

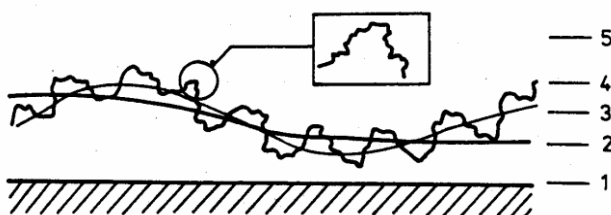
Vnější vlivy	Vnitřní vlivy
Mechanické (Provozní napětí)	Zbytkové napětí
Chemické (Koroze)	Morfologie povrchu
Fyzikální (Bludné proudy, záření atd.)	Materiálové a mech. vlastnosti povrchů
Kombinace více vlivů (technologické procesy atd.)	Přítomnost povrchových a podpovrchových vad

Čím podrobněji jsou zahrnuty vlivy ovlivňující integritu povrchu, tím více je možné posuzovat reálný stav povrchu tělesa. Povrch je možné posuzovat z následujících hledisek:

- Drsnosti a mikrostruktury
- Vlastností povrchové vrstvy
- Tvaru a přesnosti rozměru

3.2 Mikrogeometrie povrchu

V současnosti není technologicky možné a často ani žádoucí vyrobit ideálně rovné a hladké povrchy. Vyrobené technické povrchy mají odchylky tvaru, polohy a drsnosti. Na obr. 8. je znázorněno schéma geometrických odchylek od ideálně hladkého povrchu v řezu, kde **1** - ideálně rovný povrch, **2** - odchylky tvaru a polohy, **3** - vlnitost povrchu, **4** - mikroskopické drsnosti, **5** - submikroskopické nerovnosti. [24]



Obr. 8 Schématické znázornění geometrie povrchu v řezu. [24]

Obecný povrch lze rozdělit na tři různé komponenty, které rozděluje vlnová délka. Nerovnosti, které vznikají při přípravě povrchu, nebo vlivem působení vnějších vlivů je možné rozdělit do následujících kategorií:

- a) Mimořádné nerovnosti. Jedná se o nerovnosti tvarů plochy, náhodné trhliny apod.
- b) Vlnitost povrchu vzniklé vlivem obrábění. Jedná se o periodickou nerovnost.
- c) Mikronerovnost, nebo-li drsnost povrchu.

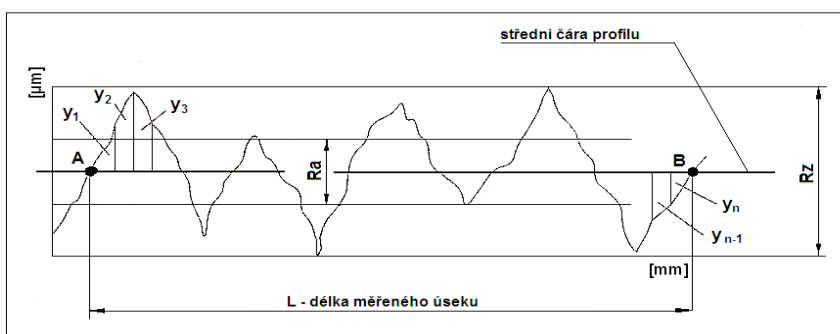
3.3 Hodnocení geometrie povrchu

Jedním ze základních způsobů hodnocení kvality povrchu je měření drsnosti povrchu. Parametrů pro měření je mnoho. Drsnost povrchu se posuzuje v příčném i podélném směru. Parametry drsnosti je možné rozdělit na amplitudové, plošné, objemové a hybridní parametry. Problematiku měření drsnosti povrchu popisuje norma ČSN EN ISO 4287. Měření drsnosti nejčastěji probíhá dotykovou metodou, kdy ostrý hrot měřicího přístroje převádí nerovnosti textury na elektrický signál, který je zobrazený formou číselné hodnoty na displeji přístroje. Výhodou tohoto měřicího přístroje je možnost použití pro všechny druhy povrchů. Nevýhodou kontaktního měření

je možnost poškození povrchu měřeného tělesa hrotem přístroje, nebo zkreslení měření vlivem malé přitlačné síly měřicího hrotu drsnoměru. Tyto nevýhody odstraňují optické drsnoměry. Příklady základních parametrů měření drsnosti, jejich význam jsou zobrazeny na obr. 9.

Ra Střední aritmetická hodnota drsnosti DIN EN ISO 4287 <ul style="list-style-type: none"> • aritmetický střed absolutních odchylek filtrovaného profilu drsnosti od střední čáry uvnitř základní délky l_r • vypovídací schopnost parametru je nízká, R_a nereaguje citlivě na extrémní výšky hrotů profilu a hloubky rýh profilu 	Rz Maximální výška profilu DIN EN ISO 4287 <ul style="list-style-type: none"> • součet výšky nejvyššího výstupku R_p a hloubky nejnižší rýhy R_v uvnitř základní délky l_r • R_p odpovídá dřívější DIN 4962 hloubce hlazení • veličina odpovídá střední hloubce drsnosti dle DIN 4762 	Rq Střední kvadratická hodnota drsnosti DIN EN ISO 4287 <ul style="list-style-type: none"> • střední kvadratická hodnota odchylek filtrovaného profilu drsnosti uvnitř základní délky l_r • parametr R_q má význam při statistickém pozorování profilu povrchu, neboť R_q zároveň odpovídá standardní odchylce z profilových souřadnic
Rc Střední vzdálenost výšek elementů profilu DIN EN ISO 4287 <ul style="list-style-type: none"> • aritmetický střed výšek elementů drsnosti profilu Z_t uvnitř základní délky l_r • měření R_c požaduje zadání jedné vertikální a horizontální hladiny řezu 	Rsk Vyosení (Nesymetrie) DIN EN ISO 4287 <ul style="list-style-type: none"> • měřítko pro asymetrii křivky hustoty rozdělení amplitud filtrovaného profilu • negativní odchylka R_{sk} odpovídá dobrým vlastnostem nosnosti profilu 	Rku Příkrost/špičatost DIN EN ISO 4287 <ul style="list-style-type: none"> • hodnota pro míru špičatosti křivky hustoty rozdělení amplitud filtrovaného profilu • při normálním rozdělení souřadnic profilu $R_{ku}=3$, ostřejší výstupky a rýhy $R_{ku}>3$ a naopak
RPC Počet výstupků STAHL-EISEN-zkušební list (SEP 1940) <ul style="list-style-type: none"> • počet výstupků P na 10 mm vztažné délky • požaduje pro vyhodnocení zadání hladin řezu C_1, C_2 	RΔq Střední kvadratické stoupání profilu DIN EN ISO 4287 <ul style="list-style-type: none"> • střední kvadratická hodnota jednotlivých stoupání profilu $dZ(x)/dx$ uvnitř základní délky l_r • parametr $R_{Δq}$ má význam při hodnocení tribologických vlastností, odrazu světla, galvanickém povlakování 	RSm Střední vzdálenost rýh DIN EN ISO 4287 <ul style="list-style-type: none"> • střední hodnota roztečí nerovností profilu v rozsahu vyhodnocované délky l_r (analogicky P_{sm}, W_{sm}) • vyhodnocení veličiny požaduje zadání hladiny řezu C_1, C_2

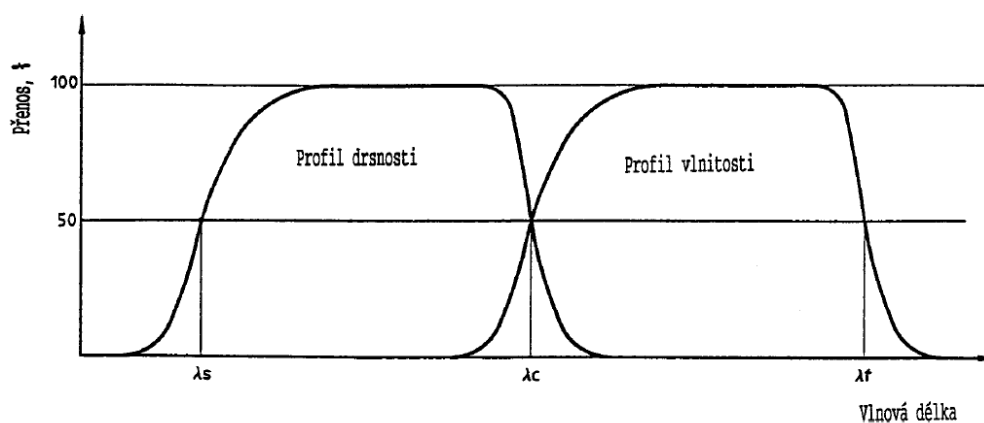
Obr. 9 Příklady základních parametrů měření drsnosti. [23]



Obr. 10 Příklad profilu měření drsnosti. [5]

Na obr. 10 je zobrazený příklad profilu měření drsnosti. Při hodnocení profilu drsnosti je důležité brát ohled na zvolený filtr profilu. Filtr rozděluje profily na krátkovlnné a dlouhovlnné složky. V přístrojích pro měření drsnosti jsou definovány dle ČSN EN ISO 4287 tři druhy filtru profilu. Na obr 11. Je zobrazena přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti.

- **λ_s filtr profilu** - definuje rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu
- **λ_c filtr profilu** - definuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti
- **λ_f filtr profilu** - definuje rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na povrchu. [34]



Obr. 11 Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti.

4. ÚPRAVA POVRCHU SUBSTRÁTU PŘED APLIKACÍ NÁTĚROVÉHO SYSTÉMU

Před vlastním nanášením nátěrové hmoty je důležitá úprava chráněného povrchu substrátu. Znečištění povrchu mastnotami zpomaluje zasychání nátěrů a brání jejich dokonalému zakotvení na povrchu substrátu. Obdobně působí i zbytky starých nátěrů, prach, korozní zplodiny (rez, okuje ap.). Nátěr proveden na zrezivělém povrchu nezabrání průběhu koroze pod ním, neboť ve rzi je dostatek vody (až 6 %) ev. i zbytky solí pro vytvoření elektrolytu a pokračování koroze pod nátěrovým systémem. Při navrhování a volbě ochrany určitého substrátu pomocí nátěrového systému z organických povlaků je třeba problém posuzovat komplexně. [22] Úpravu povrchu před aplikací nátěrového systému je rozdělována na:

- Mechanickou úpravu
- Chemickou úpravu

4.1 Chemická úprava povrchu substrátu

Při chemické úpravě povrchu substrátu před aplikací nátěrového systému jsou odstraňovány z povrchu substrátu mastnoty, tuky, korozní zplodiny apod., pomocí chemických látek, jako jsou rozpouštědla, které reagují s nečistotami na povrchu substrátu. Mezi chemické úpravy patří moření, odmašťování.

4.1.1 Odmašťování

Jde o technologický proces kde pomocí činidel, emulzí, nebo roztoků se odstraňuje z povrchu nečistoty olejového charakteru. Olejové nečistoty vznikají především vlivem předchozích technologických procesů, jako je lisování, vrtání, obrábění a podobně. Při odmašťování činidla uvolňují mastnoty, které jsou vázány na povrchu materiálu a zabráňují jejich zpětnému zakotvení na povrch materiálu. Odmašťování se provádí formou aplikace roztoku na substrát, postřikem nebo ponorem do emulze.

Odmašťování se dělí na:

- Alkalické odmašťování.
- Odmašťování v kyselém prostředí.
- Odmašťování opalem.
- Odmašťování v emulzních roztocích.
- Elektrolytické odmašťování.
- Odmašťování v organických roztocích. (Ve výjimečných případech s odkazem na směrnici 2004/42/ES - VOC látky)

Odmašťování v organických roztocích je v současné době omezováno z hlediska přítomnosti látek VOC. Při odmašťování v organických roztocích dochází k odpařování roztoku do ovzduší. Odmašťovadla s obsahem látek VOC musí splňovat ekologické normy a předpisy. V současnosti je upřednostňováno odmašťování v roztocích nechlorovaných uhlovodíků, které neovlivňují životní prostředí.

4.1.2 Moření

Moření je chemická úprava povrchu substrátu před aplikací nátěrového systému, která odstraňuje pevně vázané oxidické fáze na substrátu, jako jsou oxidy a okuže. Provádí při odstraňování oxidických vrstev z povrchu. V praxi je nejčastěji používáno moření v H_2SO_4 a HCl . Kyselina podleptává strukturu oxidické vrstvy. Uvolněný reakční plyn způsobuje odtrhávání oxidické vrstvy od substrátu. Pro zrovnoměnění

moření se do mořicí lázně přidávají inhibitory, které zabraňují přemoření a zrovnoměňují moření. Nevhodné moření může poškodit mořený materiál.

4.2 Mechanická úprava povrchu substrátu

Hlavním předpokladem pro mechanickou úpravu povrchu substrátu je docílení potřebné mikrogeometrie povrchu substrátu, odstranění okují, odstranění starých nátěrových systémů, vytvoření vhodných podmínek pro zakotvení nového nátěrového systému, zlepšení mechanických vlastností a podobně. Mezi mechanické úpravy povrchu substrátu patří:

- Otryskávání
- Omílání
- Broušení
- Kartáčování a leštění

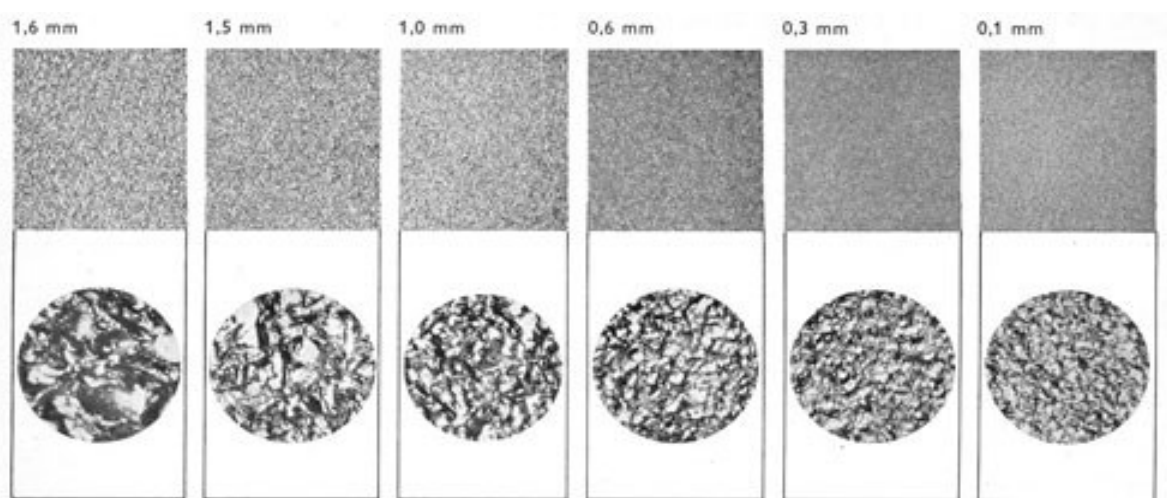
4.2.1 Otryskávání

Otryskávání lze zařadit mezi rozšířenou úpravu substrátu. Princip otryskávání spočívá v rychlém dopadu abrazivních částic na povrch substrátu. Částicím je udělena vysoká kinetická energie, která se mění s dopadem na povrch substrátu. Brusné částice ovlivňují výslednou morfologii povrchu. Změnou velikosti, tvaru, tvrdosti brusných částic se mění efekt změny morfologie povrchu po otryskání. Otryskaný povrch tělesa proudem abrazivních částic očistí a zdrsňuje před následnou aplikací nátěrového systému.



Obr. 12 Úprava povrchu otryskáním litinovou drtí [14]

Na obr. 12. je příklad úpravy povrchu otryskáním. Jako abrazivní částice v závislosti na požadované kvalitě otryskání se používají materiály s různou velikostí a tvrdostí. Viz obr. 13. Jedná se například o litinovou drť, ocelové broky, balotina, dolomit, grit, korundová drť, piliny z tvrdého dřeva, suchý led, ecostrip, olivín, tlaková voda. Při použití křemičitého písku je nutné dodržovat hygienické a bezpečnostní předpisy z důvodu nebezpečí rozptýlu drobných částic s obsahem křemíku do ovzduší a ohrožení lidského zdraví při vdechování (onemocnění silikózou). Na základě této skutečnosti se nedoporučuje toto abrazivo používat. V některých případech se jako abrazivum používá suspenze vody s tuhými částicemi.



Obr. 13 Vliv velikosti abraziva na výslednou morfologii povrchu [14]

4.2.2 Broušení, kartáčování, leštění

Jedná se další mechanické povrchové úpravy před aplikací nátěrového systému. Může se provádět ručně i strojně. Broušením lze dosáhnout drsnosti povrchu 0,4 - 0,2 μm . Leštěním se dosahuje drsnosti nižší než 0,1 μm při použití leštících nástrojů a past apod. kartáčováním se používá pro odstranění hrubých nečistot jako je rez a staré nátěry apod.

5 NÁTĚROVÉ SYSTÉMY

Nátěrové systémy slouží zejména k ochraně kovového substrátu proti korozi, zvyšují životnost a dotvářejí jeho vzhled a estetickou působivost. Nátěrový systém musí zejména vykazovat dobrou přilnavost k substrátu, odolnost proti korozní agresivitě prostředí, odolnost proti mechanickému poškození a optimální životnost.

5.1 Složení nátěrových systémů

- **Pojivo** - Nebo-li filmotvorná látka, která udává nátěrovému systému základní fyzikálně mechanické a chemické vlastnosti.
- **Rozpouštědla** - Upravují viskozitu nátěrového systému.
- **Pigmenty** - Udělují nátěrovému systému zabarvení a neprůhlednost.
- **Plniva, aditiva** - Upravují fyzikální a technologické vlastnosti nátěrového systému.

Příklady druhů nátěrových systémů: Akrylátové, alkydové, epoxidové, silikonové, olejové, polyuretanové, vodou ředitelné apod.

Složení nátěrových systémů je komplikované a má vliv na celkovou kvalitu ochrany substrátu. V poslední době jsou požadovány vodou ředitelné nátěrové systémy, vzhledem k jejich nižšímu obsahu VOC látek dle požadavku Směrnice rady Evropského parlamentu 2004/42/ES. Trendem v současném vývoji a výzkumu jsou nátěrové systémy s obsahem pevných složek o velikosti nanorozměru, které mohou ovlivnit významně jeho korozní odolnost, tloušťku suché vrstvy, odolnost proti nárazu a snížení spotřeby při jeho aplikaci.

5.2 Technologie aplikace nátěrových systémů

Podle charakteru nátěrového systému s obsahem nanočástic je nutné vhodně zvolit technologii jeho aplikace.

6 PŘÍČINY VZNIKU VAD NÁTĚROVÉHO SYSTÉMU

Mezi nejčastější vady nátěrového systému patří vznik puchýřů, podkorodování, praskliny, přítomnost nežádoucích částic různého chemického složení apod., které ve výsledku ovlivní stupeň ochrany substrátu. Mezi nejčastější příčiny pro vznik vad je možné zařadit například, nedodržení technologických podmínek aplikace, nedostatečná povrchová úprava substrátu před aplikací, zbytky nečistot po předúpravě povrchu. V důsledku působení agresivity prostředí a působením povětrnostních vlivů včetně dalších fyzikálně mechanických příčin dochází ke vzniku těchto vad. Jednou z příčin vzniku vad v nátěrovém systému může být přítomnost prachových částic.

6.1 Prachové částice

Prachové částice vzhledem k jejich lze zařadit do následujících skupin:

- *Velké částice:*

Vznikají mechanickým způsobem z minerálních i biologických zdrojů. Velikost těchto částic je i několik mikrometrů. S rostoucí velikostí částic klesá jejich hustota v jednotce objemu ovzduší;

- *Jemné částice:*

Jedná se o částice s průměrnou velikostí 0,1 μm až 1,0 μm. Jejich hustota v jednotce objemu ovzduší je vyšší oproti velkým částicím.

- *Velmi jemné částice:*

Jedná se o částice s průměrnou velikostí 0,01 μm až 0,1 μm.

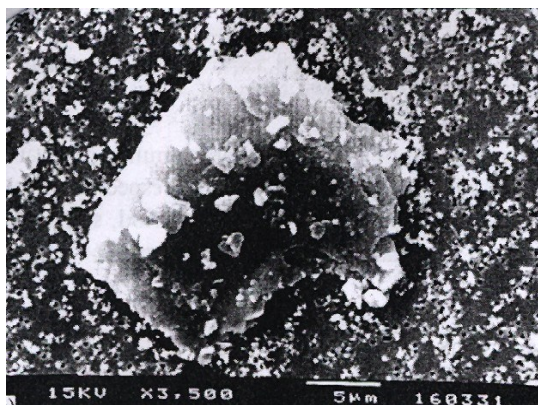
Kromě tuhých částic jsou v ovzduší přítomné další plynné znečišťující látky jako jsou například SO₂, NO₂, NO, CO které vznikají při spalování fosilních paliv. Pokud je v ovzduší obsažen amoniak NH₃, reaguje spolu s kyslíkem za vzniku oxidu dusnatého a vody viz. rovnice (10)



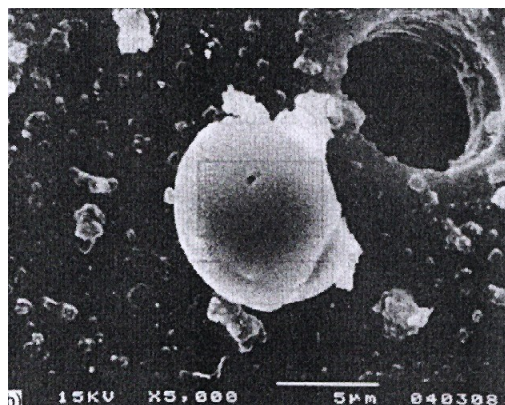
Dále se dostává do ovzduší z plynů spalovacích motorů automobilů. Oxid dusnatý je

silným oxidačním činidlem reagujícím s kovy, chemickými sloučeninami, organickými látkami, mírně se rozpouští ve vodě a je součástí kyselých dešťů. [15]

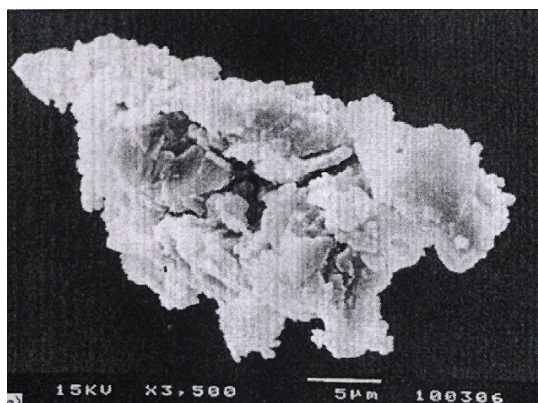
Na obr. 14 jsou zobrazeny různé druhy prachových částic. Volná povrchová energie prachové částice se mění a je závislá například na reliéfu povrchu.



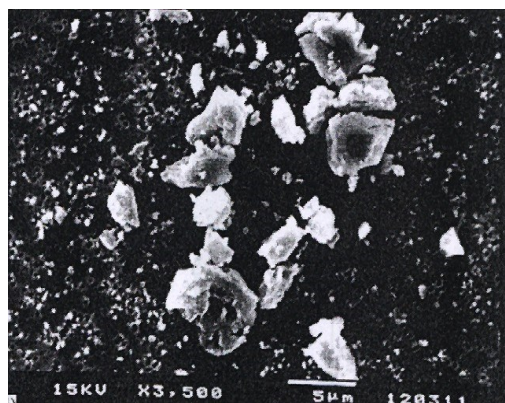
a.



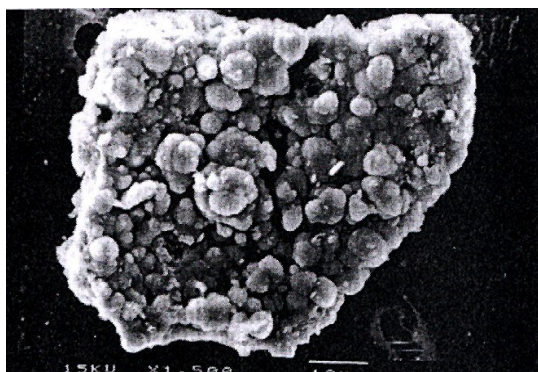
b.



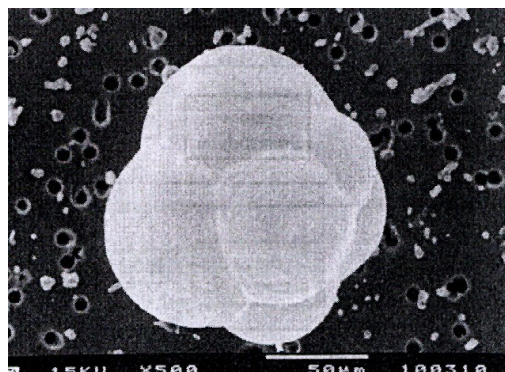
c.



d.



e.

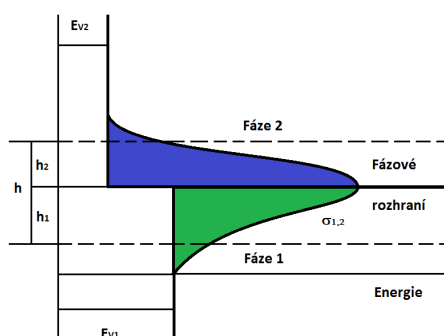


f.

Obr. 14 SEM prachových částic [3]

- a. Křemíkové částice, především oxidy, hlinitokřemičitany, Si-Ca a Si-Fe částice se vyskytují ve velkých částicích,
- b. Sírany - částice tvořené S, Fe, Ca a K jsou dominantní zejména v zimním období v důsledku reakce s atmosférou,
- c. Kovy a kovové sloučeniny Al, Ti, Zn a Cu jsou přítomny ve velkých částicích z průmyslových zdrojů,
- d. Částice bohaté Ca pocházejí z přírodních zdrojů (skály) a vyskytují se ve středních částicích,
- e. Chloridy - NaCl, KCl jsou dominantní ve středních částicích,
- f. Sloučeniny uhlíku ze spalování paliv jsou dominantní v jemných částicích.

Pevné prachové částice na rozdíl od tekutin mají pevný tvar. Pevná i kapalná fáze v rámci vyrovnání energetických potenciálů působí do prostoru silovým polem rovnající se jejich vazebním energiím. Povrch tuhé prachové částice se tak od kapaliny liší svou nehomogenitou. Rozložení volné povrchové energie je zobrazeno na obr. 15. E_{V1} a E_{V2} znázorňuje množství vnitřní energie fáze 1 a fáze 2 na jednotku objemu. Veličiny jsou za určitých podmínek stálé. V blízkosti $h = h_1 + h_2$ povrchová energie vzrůstá a na rozhraní dosahuje maxima. Modrá a zelená plocha zobrazuje nadbytek volné povrchové energie na ploše h nebo povrchové napětí $\sigma_{1,2}$.



Obr. 15 Volné povrchové energie. [3]

Na rozhraní dvou fází, například plynné a tuhé fáze působí silové pole povrchových částic na sousední molekuly plynu a ty se na pevné částice adsorbují. Tyto děje mohou být reverzibilní. Pokud se však nahromadí mnoho energie, může docházet i k dějům nevratným. Při adsorbci jsou částice vázány k povrchu van der Waalsovými silami. Při polární adsorbci dochází k vzájemnému působení elektrostatickými Coulombovými silami. Při chemisorbci se částice vážou k povrchu silami podobnými chemické

vazbě. [20]

Na korozi substrátu má vliv kromě kotvícího profilu depoziční rychlost prachových částic. Všechny částice se pravidelně kumulují na povrchu, pokud nejsou mechanicky odstraněny, a některé z jejich složek mohou reagovat s povrchem kovu za vzniku nových produktů. Vazba částic k povrchu závisí na mnoha faktorech. Velké částice nejsou přilnavé na vertikálních površích a na spodních površích pokud není povrch příliš drsný. Jemné částice jsou na povrchu vázány jak chemicky, tak fyzikálně. Dalším důležitým rozdílem mezi částicemi je jejich agresivita. Větší podíl vodou rozpustných iontů znamená vyšší agresivitu k povrchu kovu. [3]

Jedno z rizik, kdy může vzniknout koroze na fázovém rozhraní substrát - vodou ředitelný nátěrový systém může být přítomnost hydrofobních částic. Hydrofobní částice neabsorbují vlhkost, ale vlhkost zůstává na jejich povrchu. V daný moment, kdy vlhkost nestačí v procesu sušení a následného vytvrzování nátěrového systému nestačí chemicky reagovat nebo odpařit se, může vzniknout v dané oblasti zdroj mikrokoroze.

6.2 Povrchové napětí

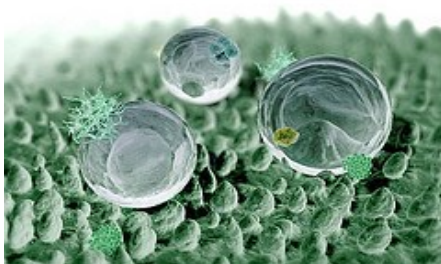
Povrchové napětí je výsledkem vzájemné reakce přitažlivých sil molekul nebo atomů, z nichž se skládá povrchová vrstva. Povrch kapaliny se chová jako by byl tvořen velmi tenkou pružnou vrstvou, která se snaží stáhnout povrch kapaliny tak, aby měl při daném objemu kapaliny co nejmenší plochu. Pokud by na kapalinu nepůsobily vnější síly, měla by kulový tvar, protože koule má ze všech těles stejného objemu nejmenší povrch. Velké povrchové napětí ztěžuje proces smáčení. Obecná termodynamická definice povrchového napětí zní: Povrchová energie, nebo-li povrchovému napětí σ („sigma“) je derivace volné entalpie H podle plochy A v systému s konstantní entropií S při konstantním tlaku p nebo také derivaci volné Gibbsovy volné energie G podle plochy A při konstantní teplotě T a konstantním tlaku p . (11) [16]

$$\sigma = \left(\frac{\partial H}{\partial A} \right)_{S,p} = \left(\frac{\partial G}{\partial A} \right)_{T,p} \quad (11) [16]$$

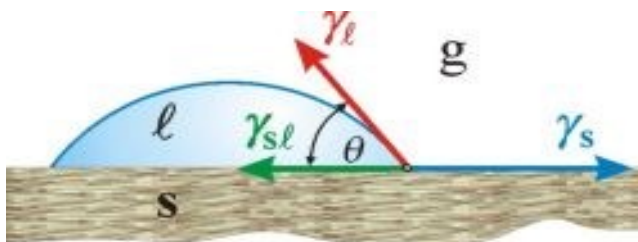
Hydrofobie je proces, při kterém na molekulách nedochází k integraci kapaliny povrchu molekuly. Jde o takové molekuly, které nenesou žádný náboj a v molekule

převažují nepolární vazby. Schopnost přilnutí kapaliny k tuhému povrchu je označována jako smáčivost. V závislosti na úhlu smáčení se kapalina chová vzhledem k tuhému podkladovému materiálu hydrofilně - smáčivé nebo hydrofobně - nesmáčivé. Na obr. 16. je zobrazené hydrofobní chování kapaliny.

Úhel smáčení je úhel, který svírá tečna k povrchu kapky, vedená v bodě styku kapky s rozhraním - hlavní charakteristika tvaru kapky kapaliny umístěné na povrchu nerozpustné tuhé látky, viz. obr. 17.



Obr. 16 Hydrofobní kapalina [17]



Obr. 17 Kapka kapaliny na tuhém podkladu. [13]

Vztah mezi úhlem smáčení θ a jednotlivými mezifázovými energiemi je dán Youngovou rovnicí. (12)

$$\gamma_{\ell} \cdot \cos \theta = \gamma_s - \gamma_{sl} \quad (12) [13]$$

kde γ_{ℓ} a γ_s jsou povrchové energie kapaliny, popř. tuhé látky, γ_{sl} - mezifázová energie tuhá látka - kapalina. Úhel smáčení je jednou z mála přímo měřitelných vlastností fázového rozhraní pevná látka - kapalina - plyn. [13] V tab. 5 je definována závislost na úhlu θ na stupni smáčení. Je rozlišováno, zda kapalina smáčí povrch a chová se hydrofilně nebo nesmáčí povrch a kapalina má hydrofobní charakter. Hydrofilně a hydrofobně se chovají také pevné částice v kapalině.

Tab. 5 - Závislost úhlu θ na stupni smáčení.

Kontaktní úhel smáčení	Stupeň smáčení	Kapalina
$\theta = 0$	Dokonalá smáčivost	Hydrofilní
$0 < \theta < 90^\circ$	Vysoká smáčivost	Hydrofilní
$90^\circ \leq \theta < 180^\circ$	Nízká smáčivost	Hydrofobní
$\theta = 180^\circ$	Nesmáčivé	Hydrofobní

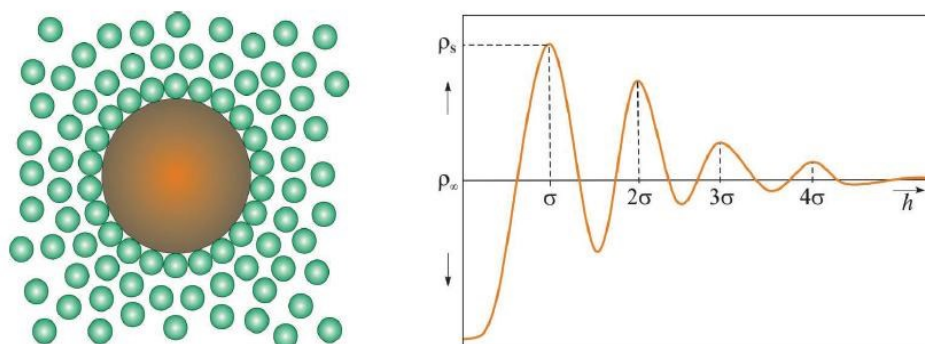
Jakým způsobem se chová daná chemická částice je možno definovat také z chemicko-fyzikálních tabulek, kde je uveden popis dané chemické částice. Voda je silně polární kapalina a díky tomu vytváří složitější struktury (klastry). Látky, které mají elektrický náboj nebo jsou polární a nebo alespoň polarizovatelné, se mohou do těchto struktur vestavět, takže s vodou interagují, nejčastěji vodíkovými můstky. Proto se vodou smáčejí - jsou hydrofilní. Kapaliny jsou s vodou mísitelné, pevné látky se mohou nejen smáčet, ale i rozpouštět. Příkladem mohou být kyseliny, alkoholy, aminy a řada dalších látek. Naproti tomu látky s nepolárními a špatně polarizovatelnými molekulami se vodou nesmáčejí, jsou hydrofobní. Mezi nimi stojí skupina látek, které mají část molekuly hydrofilní a druhou část delší molekuly nepolarizovatelnou a tedy hydrofobní. Příkladem mohou být vyšší mastné kyseliny a podobné látky. Taková molekula svým hydrofilním koncem s karboxylovou nebo OH skupinou s vodou interaguje, ale její uhlovodíkový konec je hydrofobní, tímto koncem ale může smáčet jiné hydrofobní látky. Například mastná kyselina mýdla obalí částice tuku svými hydrofobními konci a hydrofilní konce umožní takto upraveným kapičkám smočení a tím rozptýlení ve vodě. Souhrnně látky tohoto typu jsou označovány jako detergenty. [27]

V souvislosti s hydrofilií, hydrofobií v kombinaci s tuhými částicemi v tekutých roztocích se váže problematika solvatace a solvatační strukturní interakce.

6.3 Solvatační strukturní interakce

Solvatace představuje obalování částic molekulami rozpouštědla vlivem sil nevazebné interakce. Částice se solvátovým obalem se chová jako jeden celek, což ovlivňuje některé její vlastnosti, např. rychlost difúze. [18]. Na obr. 18 vlevo je zobrazeno strukturování molekul kapaliny v okolí částice a vpravo je zobrazen hustotní profil kapaliny v závislosti na vzdálenosti od povrchu částice.

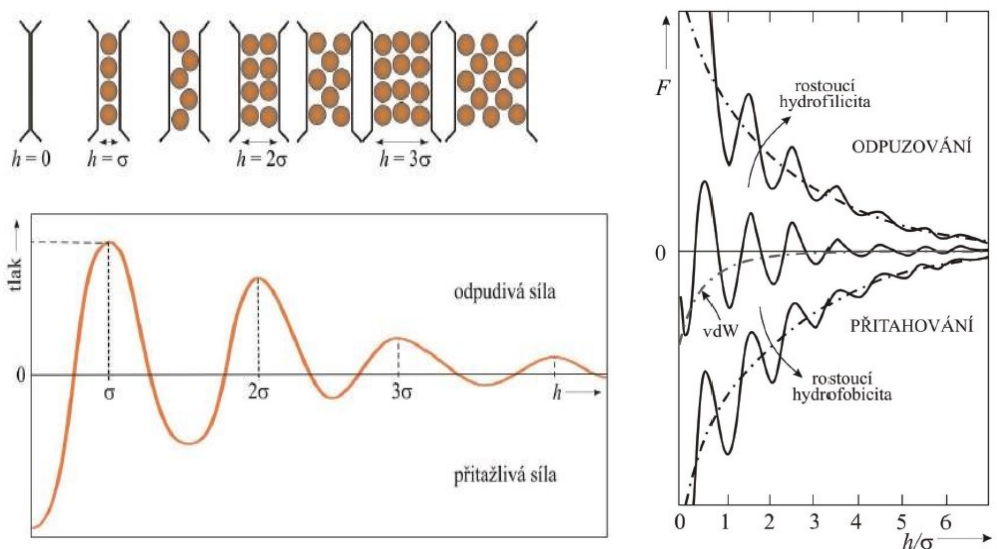
velké vzdálenosti částic → kapalina = kontinuum → van der Waalsovy síly
a elektrostatické interakce
malé vzdálenosti → diskrétní charakter kapaliny → tvorbena vrstev paralelních
s povrchem [28].



Obr. 18 Solvatační interakce [28]

Solvatační interakce závisí na:

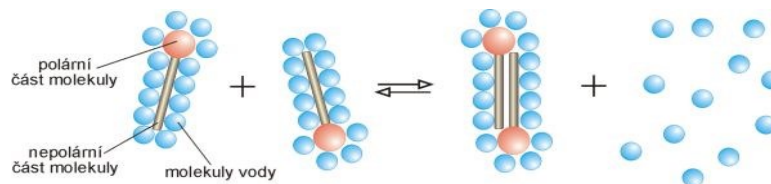
- a) Chemických a fyzikálních vlastnostech povrchů viz. obr. 19
 - hydrofilní × hydrofobní
 - amorfní × krystalické
 - pevné × tekuté
- b) tekutina × rozpouštědlo



Obr. 19 Funkční závislosti solvatační interakce částic [28]

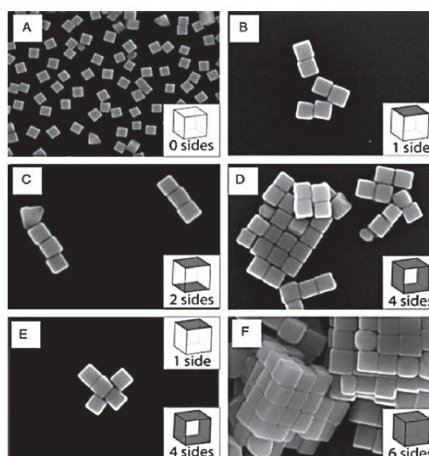
Hydrofobní interakce

Jedná se o výšenou přitažlivost mezi dvěma částicemi ve vodném prostředí, v němž jsou interakce částice-voda slabší než interakce mezi molekulami vody. Vzájemné nekovalentní interakce povrchů s vodou nemají enthalpicky výhodné interakce typu vodíkových můstků nebo elektrostatických interakcí, především nepolárních molekul nebo jejich částí. Tím, že se k sobě dva hydrofobní povrchy těsně přiblíží, molekuly vody, které je předtím pokrývaly, se uvolní a nadále se pohybují jako součást vodného prostředí, čímž entropie systému vzroste a Gibbsova energie klesne. Entropický zisk je tedy hlavní silou, která fixuje dva hydrofobní povrchy v těsné interakci. [12] Nepolární skupiny mají ve vodných roztocích tendenci se spojovat a tím zmenšit kontakt se sousedními molekulami vody viz obr. 20. Jev je spojen se zvláštností struktury vody jako rozpouštědla. Při běžných teplotách vedou vodíkové vazby mezi molekulami vody k vysoké uspořádanosti molekul, která do jisté míry připomíná uspořádanost v krystalech ledu. Přidání molekul povrchově aktivních látek, které obsahují uhlovodíkové řetězce, vede ke zvýšení uspořádanosti molekul vody v okolí uhlovodíkového řetězce a k poklesu entropie. [11]



Obr. 20 Schematické znázornění vzniku hydrofobních interakcí [11]

Na obr. 21 je zobrazeno uspořádání nanočástice ve tvaru krychliček s různým počtem hydrofobních stěn.

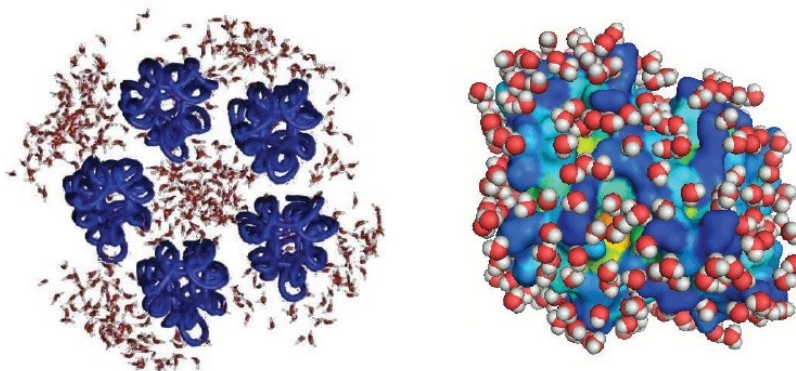


Obr. 21 SEM snímek hydrofobních nanočástic. [28]

Hydrofilní interakce

Hydrofilní interakce, nebo-li hydratace fyzikální jev, který je závislý na mnoha faktorech mez které patří, teplota, vlastnosti kapaliny, fyzikální vlastnosti hydrofilní částice a pod. Hydrataci je možné rozdělit z hlediska:

- Fyzikálního efektu - Daná částice se nasycuje kapalinou. Kapalinu lze považovat za pojivo, která částici homogenizuje. Tento efekt se uplatňuje jak v organické, tak i v anorganické chemii a fyzice. Viz obr. 22.
- Chemického efektu - jedná o chemickou reakci, při které vzniká hydratační teplo. Příkladem může být hydratace cementu při vytvrzování betonu.



Obr. 22 Hydratace proteinu. [28]

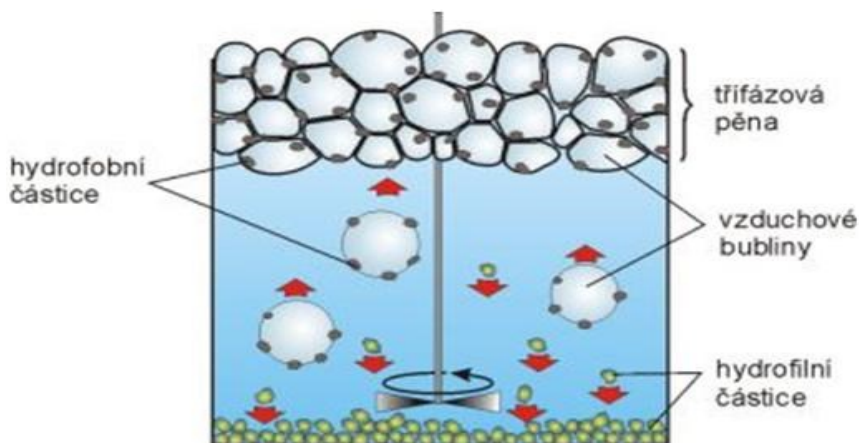
Na obr. 22 je uveden příklad z organické chemie, hydrofilní interakce proteinu. Vlevo je uvedena částice proteinu před hydratací. V pravé části obrázku je uvedena částice po ukončení procesu hydratace. Kapalina vlivem hydratace pronikla do struktury částice. Z obrázku je patrné, že proces hydratace není pouze doménou v oblasti tuhých částic, ale uplatňuje se i v oblasti organické chemie.

Nejen solvatační interakce hraje roli v chování částic v roztoku, ale také flotace působí na systém kapalina - tuhá částice.

6.4 Flotace

Princip flotace je založený na rozdílných chemicko - fyzikálních vlastnostech povrchů materiálů určených k rozduřování. Jedná se hlavně o rozdílné povrchové napětí povrchů jednotlivých tuhých částic. Jsou to částice více nebo méně smáčivé. Flotace probíhá na fázových rozhraní kapalina - plyn, kapalina - pevná látka, pevná

látky plyn. Flotace je separační proces založený na rozdílné smáčivosti složek v suspenzi. Na obr. 23. je zobrazena pěnová flotace. Hydrofobní - méně smáčivé částice jsou selektivně adsorbovány na povrchu bublin, kterými jsou vynášeny na hladinu kapaliny. Na obr. 23. jsou hydrofilní částice zobrazeny zelenou barvou. Hydrofilní - smáčivé částice k bublinám nepřilnou a klesají ke dnu nádoby. Na obr. 23 jsou hydrofilní částice zobrazené zelenou barvou.



Obr. 23 Princip pěnové flotace [20]

Příklady dalších flotačních metod:

- **Filmová flotace** - Zde se velmi jemné částice sypou na povrch tekoucí kapaliny, kde dochází k rozdělování. Hydrofobní částice zůstávají na hladině a částice hydrofilní klesají ke dnu.
- **Bezpěnová flotace** - U této metody se nepoužívá vzduchování a nevznikají zde pěnové bubliny. Tato metoda je založena na principu kapalinové extrakce s tím, že ionty přecházející do organického rozpouštědla jsou nahrazeny pevnými částicemi.
- **Selektivní flotace** - Flotace, při které jednotlivé minerály nebo užitkové složky flotují do oddělených koncentrátů.
- **Kolektivní flotace** - Způsob flotace, při které se získává koncentrát obsahující dvě a více složek.
- **Iontová flotace** - Je založena na vytváření komplexních sloučenin příslušných kovů přidávkou komplexotvorných činidel a jejich následné koncentraci v pěnovém produktu.

Při aplikaci nátěrového systému vzniká rozhraní nátěrový vodou ředitelný systém a substrátu. Na substrátu po otryskání povrchu se mohou nacházet prachové částice různého charakteru a složení. Prachové částice se mohou při styku s nátěrovým systémem chovat jak hydrofobně, tak i hydrofilně. Může zde vznikat prostředí, kde se bude uplatňovat princip flotace, který bude ovlivňovat celkovou schopnost ochrany substrátu.

6.5 Vlivy pěnové flotace při aplikaci nátěrového systému

Při aplikaci vodou ředitelného nátěrového systému může vznikat pěnová flotace. Prachové částice, které mají ryze hydrofilní charakter, budou klesat v nátěrovém systému na povrch substrátu. Na fázovém rozhraní substrát - nátěrový systém může vznikat podmínka pro vznik korozního mikročlásku. U částic ryze hydrofobních se budou prachové částice vázat na vzduchové bubliny a pohybovat se směrem vzhůru k povrchu nátěrového systému. Prachové částice, které vlivem svého složení nejsou ryze hydrofobní nebo hydrofilní se budou nacházet mimo fázové rozhraní substrát - nátěrový systém nebo na fázovém rozhraní nátěrový systém - plynná atmosféra. Povrchové napětí prachových částic, které nejsou ryze hydrofobní nebo hydrofilní ovlivňuje jejich výsledný charakter.

7 NANOTECHNOLOGIE A VLASTNOSTI NANOPOVLAKŮ

V současné době představují nanotechnologie nejrychleji se vyvíjející oblast výzkumu. Nanosvět je oblast částic a struktur o rozměrech 1 až 100 nm tvořící základní stavební jednotky, které se nazývají nanoobjekty. V konkrétních případech se tyto nanoobjekty uplatňují především v elektrotechnice, ve strojírenském, chemickém, stavebním, textilním, automobilovém průmyslu a podobně. [9]

7.1 Rozdělení nanoobjektů

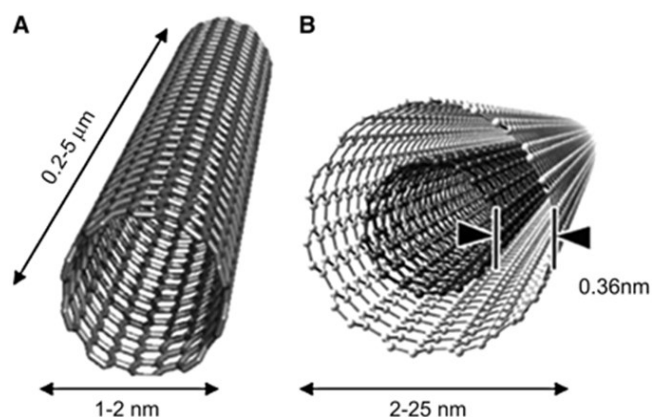
Podle normy ISO/TS 27687 se dělí dle tvaru nanoobjekty do tří skupin, které se odvíjí od počtu souřadnic ve kterých nanoobjekty překračují interval nanorozměru 1 až 100 nm, čím se vzájemně liší jejich fyzikální vlastnosti, možnosti aplikace a jejich následné využití.

- **0 dimenzionální nanoobjekty (0D)** - Dosahují nanorozměru ve třech souřadných osách.
- **1 dimenzionální nanoobjekty (1D)** - Dosahují nanorozměru ve dvou souřadných osách.
- **2 dimenzionální nanoobjekty (2D)** - Dosahují nanorozměru pouze v jediné souřadné ose.

V současné době se v oblasti vývoje povlaků s nanočásticemi uplatňují většinou dvou a jednodimenzionální nanoobjekty.

7.2 1 dimenzionální nanoobjekty

1D nanoobjekty dosahují nanorozměru pouze ve dvou souřadných osách. Mezi tyto objekty je možné zařadit nanovlákná, nanotyče, nanotrubičky apod. Na obr. 24 A je zobrazená jednostěnná nanotrubička. Na obr. 24 B je zobrazená dvoustěnná nanotrubička.



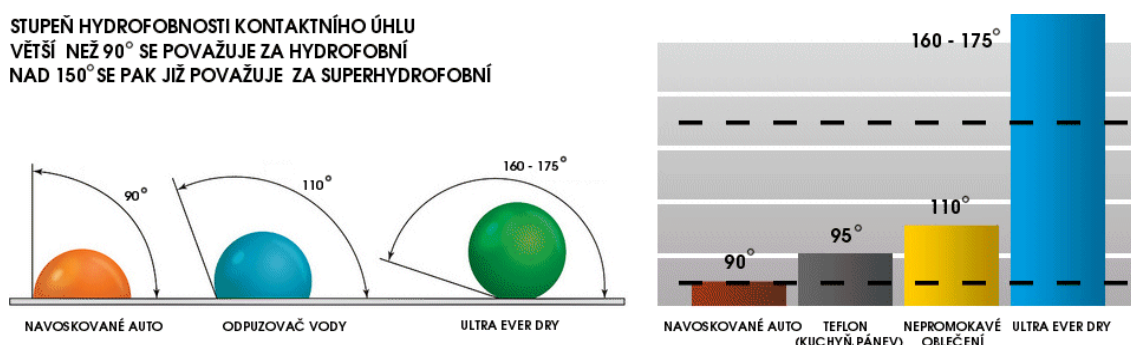
Obr. 24 Jednotěnná a dvoutěnná nanotrubičky. [9]

Nanotrubičky se používají jako plnidla nátěrových hmot. Organické nátěrové hmoty jsou vhodné pro vytváření nanokompozitních nátěrových systémů. Při využití nanoobjektů jako plnidel mohou tyto nátěry vykazovat velmi výrazné změny funkčních a mechanických vlastností. Plnidla tvoří „kostru“ nátěrových filmů, neboť struktura povlaku se zesiluje právě těmito pevnými částicemi. Plnidla zvětšují účinky bariérové ochrany zvětšením tloušťky nátěrového filmu. Jako vhodné nátěrové hmoty schopné tvořit nanokompozitní nátěrové systémy se jeví především nátěrové hmoty na bázi epoxidových pryskyřic, polyuretanové, akrylátové a alkydové nátěrové hmoty. Volba plnidla (nanoobjektů), je závislá na požadovaných vlastnostech vytvářeného nátěrového systému. Nanokompozitní nátěrový systém na bázi epoxidové pryskyřice obsahuje uhlíkové vícevěnné nanotuby. Jedná se o nátěrový systém se zvýšenou odolností vůči abrazi a erozi. Nanoobjekty jsou rovnoměrně vyloučeny v epoxidové nátěrové hmotě a pokud dochází k úbytku tloušťky povlaku (mechanickým opotřebením), zachovává si své otěruvzdorné vlastnosti v celé tloušťce. Další vlastnost povlaku pozitivně ovlivněná přítomností uhlíkových vícevěnných nanotub je přilnavost k základnímu substrátu. [9]

Z hlediska nátěrových systémů s obsahem nanočástic si výrobci chrání složení nátěru, neuvádějí informace o použitých nanočásticích, jejich velikosti a struktuře. Jako příklad podrobného popisu složení nátěru je výrobcem uváděn nátěrový systém s obsahem nanočástic ULTRA EVER DRY.

ULTRA EVER DRY je dvouvrstvý ochranný nátěr na principu nanotechnologie s nízkou povrchovou energií vykazující superhydrofobní a olejofobní vlastnosti. Spodní vrstva nátěru přilne k substrátu a chová se jako základní nátěr, zároveň působí proti korozi a vytvoří jakýsi konzistentní podkladový materiál pro nanášení vrchní ochranné

vrstvy, se kterou následně samočinně vytvoří nanotexturovaný povrch. Tento povrch vytváří vzorce geometrických útvarů s miliardami mezer, které zachytávají molekuly vzduchu, čímž vytvářejí "vzduchový deštník" na povrchu nátěru. Vzniklé vyvýšeniny na takto ošetřeném povrchu se přibližně dovolují kapkám vody ze 2-3 % jejich plochy se dotknout povrchu nátěru. Ostatní voda steče po „vzduchovém deštníku“ pryč. Nanopovlak má rovněž nízkou povrchovou energii. ULTRA EVER DRY vytváří s kapalinami 160 - 175 stupňů viz obr. 25. [25]



Obr. 25 Kontaktní úhel nátěrového systému ULTRA EVER DRY [25]

ULTRA EVER DRY lze aplikovat na jakýkoliv kovové a nekovové (ocel, hliník, plasty, beton atd.) materiály s hladkým nebo zdrsňeným povrchem. Doporučená aplikace nátěru je v rozmezí teplot +10°C až +32°C. Nátěr může být vystaven teplotním podmínkám od -34°C do +149°C.

7.3 2 dimenzionální nanoobjekty

2D nanoobjekty dosahují nanorozměru pouze v jedné souřadné ose. Mezi tyto nátěry lze zařadit nátěry, které v procesu chemické reakce spolu se substrátem vytvářejí fázovou nanovrstvu o rozměrech do 50 nm. Typickým příkladem je transportní transparentní vodou ředitelný nanolak vyrobený v NII LKP CHOŤKOVO, Moskevská oblast, Ruská federace, který je patentován pod číslem RU 2 441 044 C1 viz. příloha 12 [44]. Kromě tohoto dvoudimenzionálního nanoobjektu jsou v laku obsaženy nanoobjekty 1D a 0D. Mezi tyto nanoobjekty patří například hydrofobní AEROSIL RU805 o rozměru 12 nm, který nepodporuje sedimentaci tuhých částic v nátěru před aplikací. S tímto nátěrem se pracuje v experimentální části disertační práce.

8 FORMULACE PROBLÉMU

V současnosti jsou známy patentované technologie, práce, výsledky, které jsou spojovány s aplikací tenkých transparentních transportních nátěrových systémů. Jedná zejména se o nátěrový systém, který se aplikuje na ocelové výrobky z důvodu omezení korozního působení prostředí po dobu minimálně 3-6 měsíců při transportu ocelových výrobků do vzdálených lokalit.

V současné době se jedná o krátkodobou protikorozní ochranu trub, které jsou určeny pro stavbu ropovodu. Po aplikaci nátěru a jeho vytvrzení jsou trouby stohovány a přepravovány do přímořských oblastí, odkud jsou dále transportovány na místo určení lodní dopravou. Po dobu transportu jsou v kontaktu s agresivním korozním prostředím C5. Pokud je nátěrový systém aplikován dle patentu č. 304 190 viz. [43] na čistý ocelový bezprašný povrch bez popisu bílou křídou je zaručena protikorozní ochrana při transportu minimálně 6 měsíců. Velmi závažným problémem je podkorodování ochranného nátěru v místech, kde jsou uvedeny technické popisy bílou popisovou křídou na jednotlivých troubách. Vlivem tohoto podkorodování dochází v průběhu transportu k znehodnocení technického popisu, což způsobuje problémy při montáži. Zjištění vzniku korozního napadení v průběhu transportu vlivem bílé popisové křídou a dalších prachových částic ulpělých na povrchu ocelového substrátu pod aplikovaným ochranným nátěrovým systémem je cílem řešení této disertační práce.

9 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Cílem disertační práce je studium vlivu znečištění povrchu ocelového substrátu prachovými částicemi a dalšími nečistotami, které vedou ke vzniku koroze pod aplikovaným nátěrem. Jedná se zejména o vliv křídý, která se používá pro technický popis segmentů ocelových konstrukcí před montáží, které jsou v průběhu transportu v kontaktu s vysokým stupněm agresivity korozního prostředí C5 - Cx v průběhu transportu na místo montáže.

Dalším cílem disertační práce je studium vlivů hydrofilie a hydrofobie nečistot na vznik koroze. Při použití vodou ředitelných nátěrových systémů se nečistoty dostávají do kontaktu s vodní rozpouštědlovou složkou a lze tedy předpokládat, že může nastat na fázovém rozhraní ocelový substrát-ochranný nátěr reakce podobná procesu flotace a solvatace. Na základě toho může dojít k separaci nečistot hydrofobního a hydrofilního charakteru na fázovém rozhraní mezi ocelovým substrátem a nátěrem, což může vést k podkorodování, snížení hodnoty adheze a korozní odolnosti nátěrového systému.

10 METODIKA EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

Práce a zkoušky s prachovými částicemi

- **Výroba prachových částic**
- **Fotodokumentace prachových částic**
- **Chemická analýza prachových částic**

Zkoušky provedené na mechanicky očištěném substrátu před aplikací nátěrového systému.

- **Fotodokumentace povrchu ocelového substrátu.**
- **Hodnocení čistoty povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1** - *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Vizuelní vyhodnocení čistoty povrchu - Část 1: Stupně zrezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků.*
- **Stanovení prachu na ocelovém povrchu dle ČSN EN ISO 8502-3** - *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu - Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání (metoda snímání samolepící páskou.)*
- **Měření drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 4287** - *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu.*
- **Aplikace prachových částic**

- **Fotodokumentace povrchu ocelového substrátu s prachovými částicemi**
- **Měření drsnosti povrchu substrátu s prachovými částicemi dle ČSN EN ISO 4287 - Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu.**

Zkoušky provedené na kovovém substrátu s aplikovaným transparentním povlakem

- **Měření tloušťky nátěrového systému dle ČSN EN ISO 2808 - Stanovení tloušťky mokrého a suchého nátěrového systému - Nátěrové hmoty - Stanovení tloušťky.**
- **Zkouška přilnavosti nátěru mřížkovou metodou dle ČSN EN ISO 16276-2 - Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy - Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku - Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez.**
- **Fotodokumentace povrchu transparentního nátěrového systému.**
- **Korozní zkoušky dle ČSN EN ISO 9227 - Korozní zkoušky v umělých atmosférách. Zkoušky solnou mlhou.**
- **Fotodokumentace povrchu transparentního nátěrového systému po korozní zkoušce v korozní komoře v solné mlze**
- **Korozní zkoušky dle ČSN 03 8131 - Kondenzační zkouška v kondenzační komoře.**
- **Hodnocení defektů a intenzity změn vzhledu nátěrů dle ČSN EN ISO 4628-1 Po korozní zkoušce v solné komoře.**

- **Hodnocení stupně puchýřkování nátěrů dle ČSN EN ISO 4628-2** Po korozní zkoušce v solné komoře.
- **Hodnocení stupně prerezávání nátěrů dle ČSN EN ISO 4628-3** Po korozní zkoušce v solné komoře.
- **Fotodokumentace povrchu s transparentním nátěrovým systémem po korozní zkoušce v kondenzační komoře.**
- **Korozní zkoušky dle ČSN 03 8131 - Kondenzační zkouška v kondenzační komoře.**
- **Hodnocení defektů a intenzity změn vzhledu nátěrů dle ČSN EN ISO 4628-1** Po korozní zkoušce v kondenzační komoře.
- **Hodnocení stupně puchýřkování nátěrů dle ČSN EN ISO 4628-2** Po korozní zkoušce v kondenzační komoře.
- **Hodnocení stupně prerezávání nátěrů dle ČSN EN ISO 4628-3** Po korozní zkoušce v kondenzační komoře.
- **Chemická analýza povrchu ocelového substrátu s nátěrem.** Po korozní zkoušce v kondenzační komoře.
- **Zkouška přilnavosti nátěru mřížkovou metodou dle ČSN EN ISO 16276-2 - Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy - Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku - Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez.**

11 CHARAKTERISTIKY VSTUPNÍCH MATERIÁLŮ

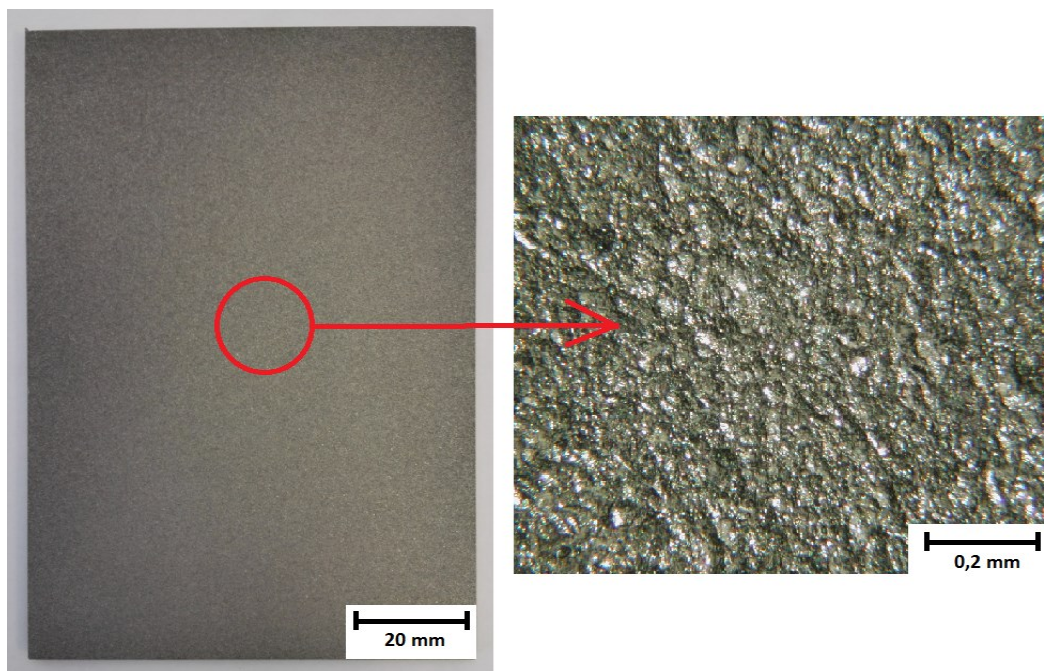
V této kapitole je definován použitý kovový substrát, prachové částice, nátěrový systém - jeho aplikace v rámci experimentálních prací včetně legendy značení použitých experimentálních vzorků.

11.1 Substrát

Pro experimentální práce byl použit ocelový plech typ: S355MC otryskaný ocelovou drtí dodaný firmou EVRAZ VÍTKOVICE STEEL, a.s. nařezaný na dva různé rozměry. Chemické složení použitého experimentálního substrátu je uveden v tab. 6. Na obr. 26 je zobrazen experimentální vzorek otryskaného plechu s detailem povrchu vzorku. Materiálový list je uveden v příloze č.1.

Tab. 6 Chemické složení plechu S355MC

Chemické složení									
Prvek	C	Mn	Si	P	S	V	Al	Ti	Nb
Obsah [%]	0,120	1,500	0,500	0,025	0,020	0,200	0,015	0,150	0,090



Obr. 26 Fotodokumentace povrchu vzorku plechu otryskaného ocelovou drtí.

Vpravo detail povrchu zvětšený 100×

11.2 Značení experimentálních vzorků

V rámci experimentů byly rozděleny vzorky substrátu do dvou základních skupin.

- Vzorky otryskané a zbavené nečistot po otryskání. (prach, otryskávací médium, zbytky uvolněného substrátu).
- Vzorky otryskané, zbavené nečistot a následně záměrně zpětně znečištěny.

Znečištění povrchu substrátu bylo provedeno nanesením:

- částic drcené vypálené cihly;
- částic drcené křídý pro popis ocelových konstrukcí před montáží;
- částicemi nečistot po otryskání spolu s prachem.

Z každého typu bylo 50 % jejich množství použito v neupraveném původním stavu a 50 % množství bylo ošetřeno sprejem typu Smart Sep výrobce Baťa a.s. za účelem získání hydrofobních vlastností.

Pro experimentální práce bylo použito 20 kusů vzorků substrátu o rozměru 150×100×3 mm, pod označením Vz.4 až Vz.24, viz. tab. 7. a 6 kusů vzorků substrátu 150×30×3 mm, pod označením K01 až K06, viz. tab. 7. Všechny vzorky pro experimentální práce byly otryskány a následně byla stanovena jejich mikrogeometrie povrchu. Poté byly vzorky dočištěny po otryskání a opět stanovena jejich mikrogeometrie povrchu. Vzorky pod označením Vz.4 až Vz.24 byly záměrně zpětně znečištěny všemi typy prachových částic, to jsou částice drcené křídý pro popis segmentů, částice vypálené cihly a nečistoty po otryskání z důvodu hodnocení vlivu těchto částic na korozi povrchu substrátu zkouškou v solné mlze. Na vzorky uvedené pod označením K01 až K06 byl aplikován popis technickou křídou po okrajích povrchu vzorků a následně byly aplikovány po celém povrchu vzorků stejné prachové částice jako u vzorků Vz.4 až Vz.24. Po aplikaci prachových částic byl na všechny experimentální vzorky nanesen transparentní transportní nátěrový systém NOVAX VD-AK-3-289, dodaný z NII LKP CHOŤKOVO, RF.

Na základě výsledků korozní zkoušky v kondenzační komoře u vzorků K01 až K06 a hodnocení jejich povrchu optickým mikroskopem, byly vybrány tři vzorky pod označením K03, K05 a K06, na kterých byla vytvořena nejsilnější vrstva korozních zplodin pro další studium povrchu elektronovým mikroanalýzátorem. Z těchto vzorků

byly připraveny vzorky pod označením 3, 5 a 6 pro hodnocení fázového rozhraní substrát-nátěrový systém viz. tab. 8.

Tab. 7 Legenda vzorků substrátu s prachovými částicemi

Označení substrátu	Rozměr substrátu	Popis vzorku
K01	150×30×3	Očištěný vzorek po otryskání
K02	150×30×3	Otryskaný vzorek s křídovými hydrofil. částicemi
K03	150×30×3	Otryskaný vzorek s křídovými hydrofob. částicemi
K04	150×30×3	Otryskaný vzorek s cihlovými hydrofob. částicemi
K05	150×30×3	Otryskaný vzorek s cihlovými hydrofil. částicemi
K06	150×30×3	Otryskaný vzorek s prach. částicemi po otryskání
Vz.4 a Vz.5	150×100×3	Otryskaný, očištěný
Vz.7 až Vz.9	150×100×3	Otryskaný, neočištěný
Vz.10 až Vz.12	150×100×3	Otryskaný vzorek s prach. částicemi po otryskání
Vz.13 až Vz.15	150×100×3	Otryskaný vzorek s cihlovými hydrofil. částicemi
Vz.16 až Vz.18	150×100×3	Otryskaný vzorek s cihlovými hydrofob. částicemi
Vz.19 až Vz.21	150×100×3	Otryskaný vzorek s křídovými hydrofob. částicemi
Vz.22 až Vz.24	150×100×3	Otryskaný vzorek s křídovými hydrofil. částicemi

Fázové rozhraní bylo hodnoceno optickým mikroskopem OLYMPUS SZX7 a elektronovým mikroanalyzátozem EDAX PHILIPS XL 30. Na základě výsledků byl vybrán k dalšímu hodnocení vzorek 3 a vzorek 5. V tab. 8 jsou tytéž vzorky označeny dvojím způsobem z důvodu rozlišení studia fázového rozhraní na optickém mikroskopu a elektronovém mikroanalyzátoru.

Tab. 8 Legenda vzorků pro metalografické hodnocení fázového rozhraní

Olympus SZX7	SEM	Popis vzorku
3	1125/16	Výbrus části vzorku K03 po expozici v kondenzační komoře. Otryskaný vzorek s křídovými hydrofobními částicemi.
5	1126/16	Výbrus části vzorku K05 po expozici v kondenzační komoře. Otryskaný vzorek s cihlovými hydrofilními částicemi.
6	1127/16	Výbrus části vzorku K06 po expozici v kondenzační komoře. Otryskaný vzorek s neupravenými prachovými částicemi po otryskání.

Tab. 9 uvádí označení vzorků s aplikovanými prachovými částicemi. V tab. 9 jsou tytéž vzorky označeny dvojím způsobem z důvodu rozlišení studia charakteru částic na optickém mikroskopu a elektronovém mikroanalýzátoru.

Tab. 9 Legenda vzorků prachových částic

Olympus SZX7	SEM	Popis prachových částic
HFIL1	748	Prachové částice křídý hydrofilní, vysušené
HFIL2	749	Prachové částice křídý hydrofilní Optika - pod vodou; SEM - výluh
HFX1	750	Prachové částice křídý hydrofobní, vysušené
HFX2	751	Prachové částice křídý hydrofobní Optika - pod vodou; SEM - výluh
HC1	752	Prachové částice cihly hydrofilní, vysušené
HC2	753	Prachové částice cihly hydrofilní Optika - pod vodou; SEM - výluh
HFB1	754	Prachové částice cihly hydrofobní, vysušené
HFB2	755	Prachové částice cihly hydrofobní Optika - pod vodou; SEM - výluh
HTRYSK	756	Sejmuté nečistoty ze substrátu po otryskání, vysušené
VZOREK2	757	Sejmuté nečistoty ze substrátu po otryskání Optika - pod vodou; SEM - výluh

11.3 Příprava hydrofilních a hydrofobních částic

Pro výrobu hydrofilních a hydrofobních částic byla použita technická popisová křída a cihla se sklovitou složkou. Hydrofilní prachové částice cihly vzhledem k jejímu různorodému složení, nemají jednoznačně hydrofilní charakter jako prachové částice popisové křídý. Novodobé pálené cihly mají dle technických údajů nasákavost 15 %. Rozdrcením cihly vznikly částice, které byly označeny jako částice hydrofilní z kterých byly následně vyrobeny pro experimentální práce další úpravou cihlové částice hydrofobní. Technická popisová křída převážně obsahuje v chemickém složení $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, což je označení sádrovce, který při žhání uvolňuje vodu a lupenatí. Křída i cihla po vstupním vysušení byla rozdrcena do velikosti prachových částic.

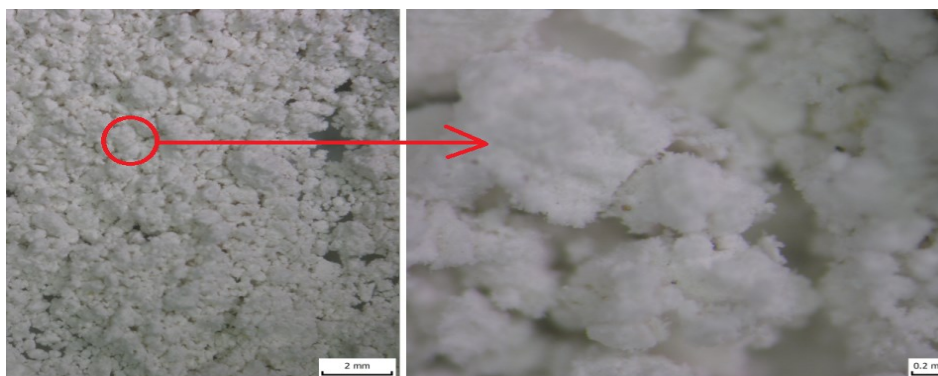
Hydrofobní částice byly získány impregnací sprejem Smart Step od výrobce Bat'a. Impregnační sprej byl aplikován do Petriho misky a poté byly přidány prachové částice. Misky byly následně vloženy do sušící pece a sušeny při teplotě 50 °C po dobu 30 min. z důvodu odstranění vlhkosti. Po aplikaci a odpaření těkavých látek impregnačního spreje získala prachová částice vodě odpudivý charakter. Bližší informace o složení impregnačního spreje není výrobcem na obalu výrobku uvedeno. Prachové částice byly vyrobeny v laboratoři VŠB-TU Ostrava. Pro další hodnocení byly částice neupravené považovány za částice hydrofilního charakteru a upravené částice byly považovány za částice hydrofobní.

11.4 Hodnocení prachových částic technické křídly

Pro mikroskopické hodnocení mikroskopem OLYMPUS SZX7 byly připraveny hydrofobní a hydrofilní částice ve vysušeném stavu a ve stavu nevysušeném v kontaktu s vodou. Takto byly studovány všechny připravené částice. SEM analýzou byly studovány částice ve vysušeném stavu a částice vysušené po kontaktu s vodou označené jako výluh, viz tab. 9. Fotodokumentace povrchů vzorků byla provedena v Centru nanotechnologií VŠB-TU Ostrava. Protokol měření je uveden v příloze č. 8.

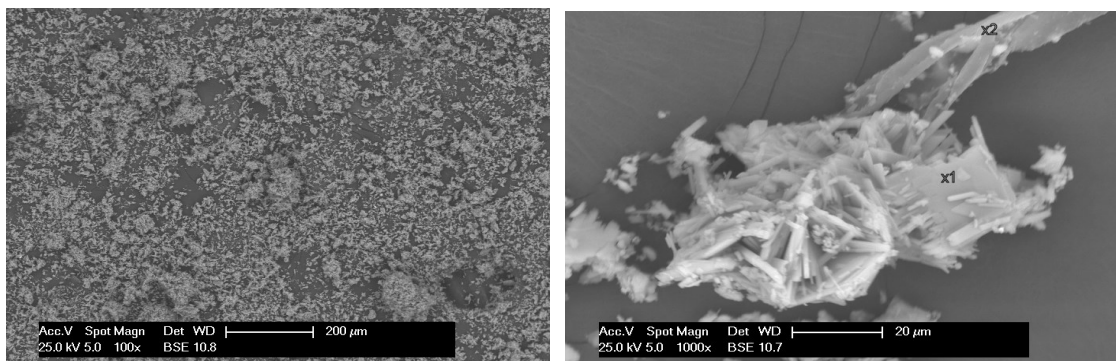
11.4.1 Suché hydrofilní prachové částice křídly

Při hodnocení hydrofilních suchých prachových částic křídly na optickém mikroskopu byly pozorovány vytvořené shluky částic nepravidelných tvarů a velikostí, viz. obr. 27.

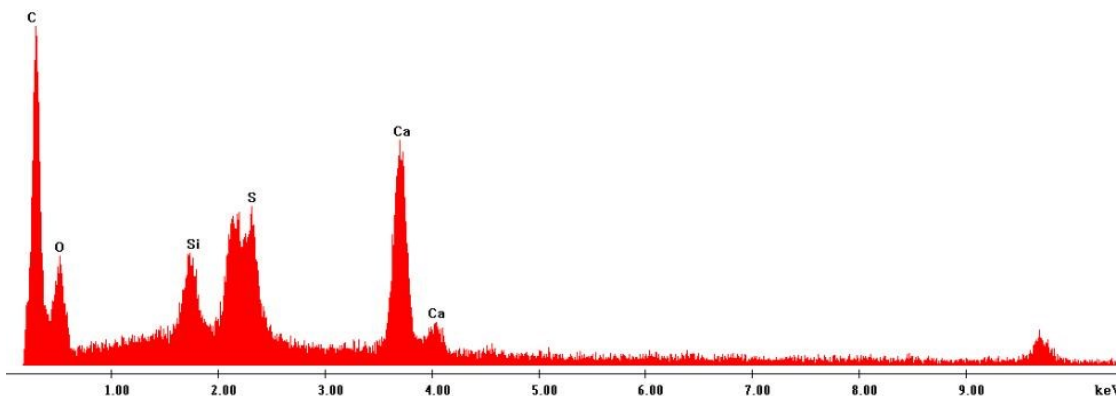


Obr. 27 Vzorek HFIL1. Zvětšeno 5,5×, vpravo detail hydrofilního prachu, zvětšeno 31×.

Při hodnocení hydrofilních suchých prachových částic křídý SEM analýzou byly pozorovány shluky různé velikosti, tvořené částicemi o rozměru větším než 1 μm viz. obr. 28. Na obr. 29 je zobrazena chemická analýza složení jedné z prachových částic ve shluku, obsahující zejména prvky vápníku, síry a kyslíku. Chemické prvky na hranici citlivosti analyzátoru EDAX byly vyloučeny. Podrobná chemická analýza je uvedena v příloze č.9.



Obr. 28 Vzorek EDAX 748. Vysušené hydrofilní prachové částice křídý HFIL1.

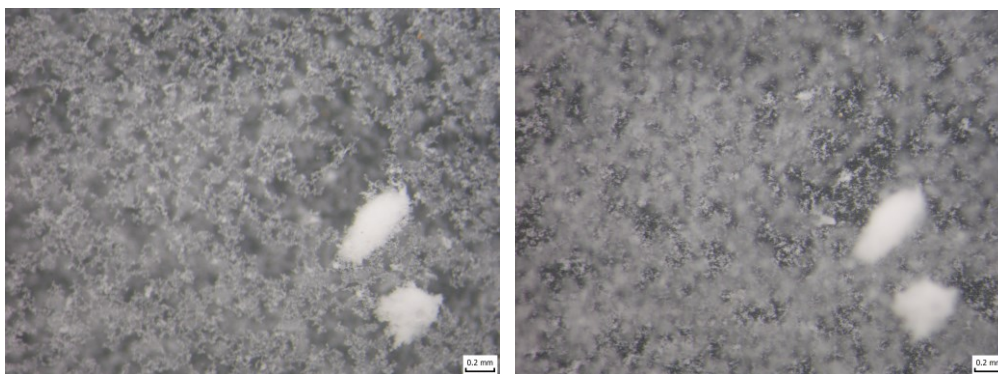


Obr. 29 Vzorek EDAX748. SEM analýza bodu x2 hydrofilního suchého křídového prachu HFIL1, uvedené na obr. 28 vpravo.

11.4.2 Hydrofilní prachové částice křídý v kontaktu s vodou

Na obr. 30 jsou zobrazeny hydrofilní prachové částice ve vodě. V levé části obrázku je zaostřen mikroskop na dno Petriho misky, ve které je umístěný hydrofilní prach s vodou. Větší část hydrofilních částic se nachází na dně misky. Jedná se především o velké částice a shluky prachových částic, které překonaly vzájemnou reakci přitažlivých sil molekul při umístění prachových částic do kapaliny. Určitá část

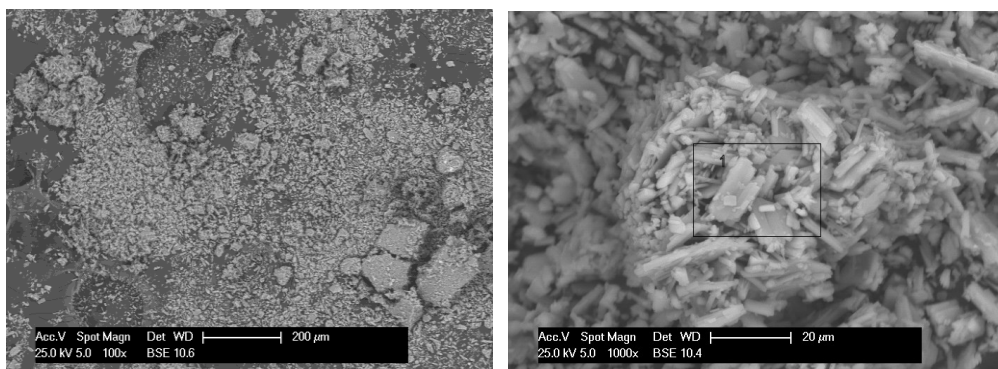
prachových částic zůstala na povrchu kapaliny. Jedná se o částice, které při aplikaci do



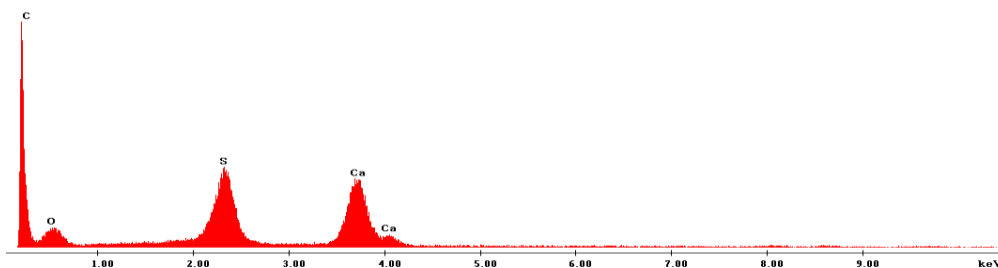
Obr. 30 Vzorek HFIL2. Vlevo zaostřeno na dno, vpravo zaostřeno na hladinu kapaliny, zvětšeno 5,5×.

kapaliny nepřekonalý velikost povrchového napětí σ . Částice na povrchu hladiny kapaliny jsou zobrazeny na obr. 30 vpravo.

Na obr. 31 jsou zobrazeny zvětšené vyluhované hydrofilní částice křídý lamelárního tvaru. Velikost částic se pohybovala v rozmezí od 1 μm do 100 μm . Na obr. 31. vpravo jsou částice upořádané do shluku vykazující porézní charakter. Chemická analýza je na obr. 32.



Obr. 31 Vzorek EDAX 749. Výluh hydrofilní prachové částice křídý HFIL2.

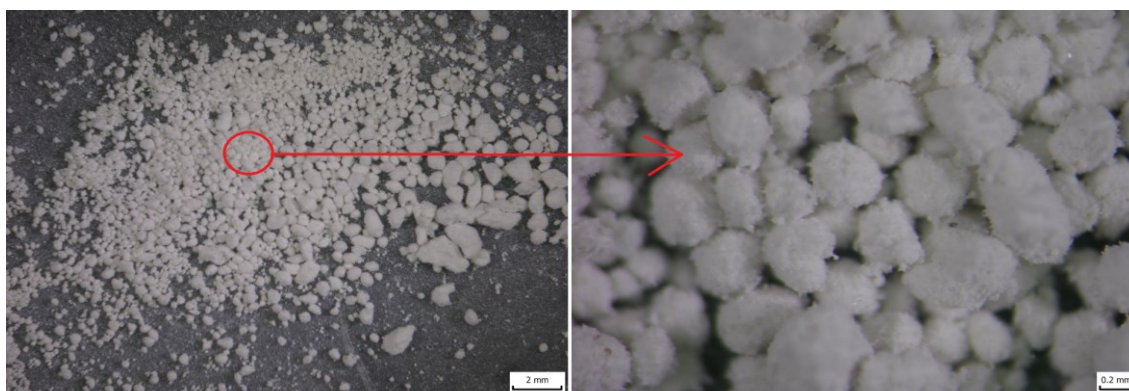


Obr. 32 Vzorek EDAX 749. SEM analýza oblasti 1 vyluhovaného hydrofilního křídového prachu, uvedené na obr. 31 vpravo.

Vzorek 749 prachových částic hydrofilní křídý obsahoval v porovnání se vzorkem 748 velké množství uhlíku. Podrobná chemická analýza je uvedena v příloze č.9.

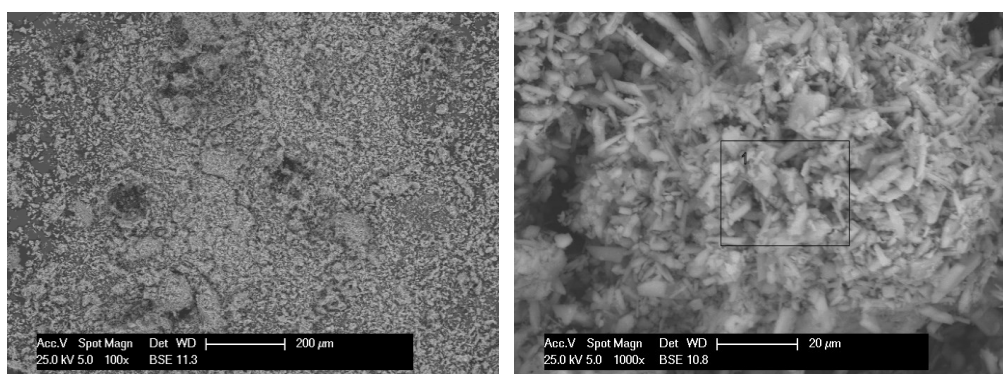
11.4.3 Suché hydrofobní prachové částice křídý

Při hodnocení hydrofobních suchých prachových částic křídý na optickém mikroskopu byly pozorovány vytvořené shluky částic pravidelných tvarů a velikostí. Upravené prachové částice vykazovaly globulární charakter.



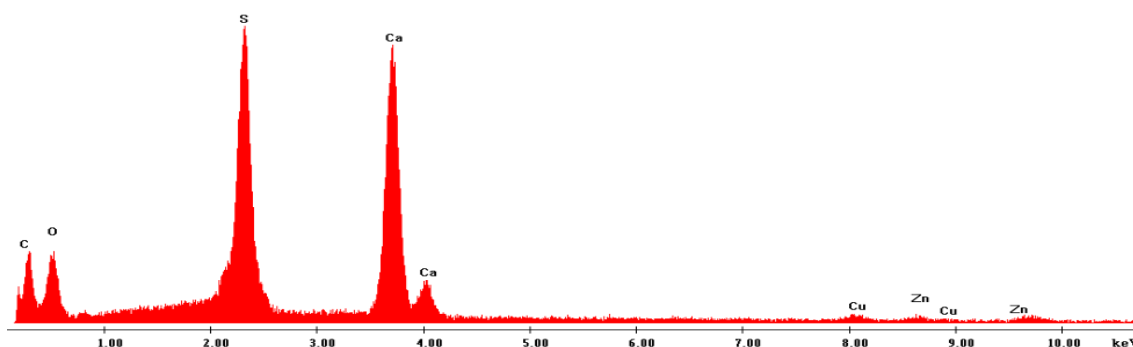
Obr. 33 Vzorek HFX1 hydrofobní křídový prach. zvětšeno 5,5×. Vpravo zvětšeno 31×.

Vzhledem k prachovým částicím hydrofilním zobrazených na obr. 27 tvořily kuličky poměrně pravidelného charakteru.



Obr. 34 Vzorek EDAX 750, vysušené hydrofobní prachové částice křídý HFX1.

Na obr. 34 vlevo jsou zobrazeny hydrofobní prachové částice. Částice tvoří pravidelné shluky různých velikostí s pravidelným tvarem. Na obr. 34 vpravo je zvětšena kulička tvořená shluky malých lamelárních částic křídý. Chemická analýza částic je uvedena na

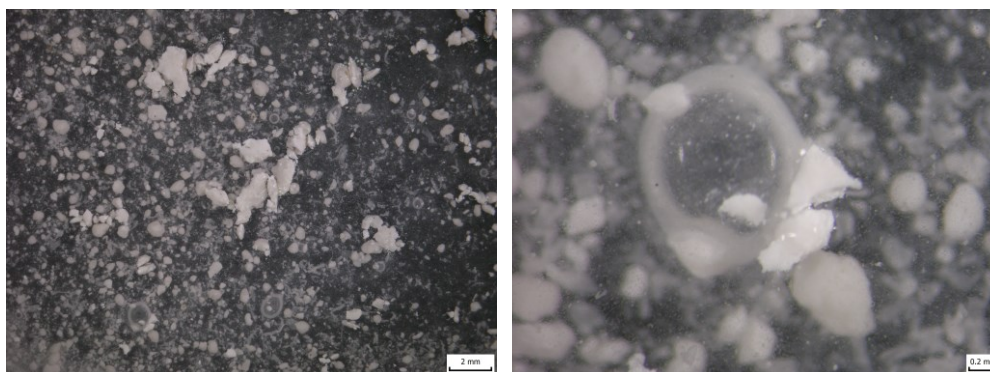


Obr. 35 Vzorek EDAX 750. SEM analýza oblasti 1 hydrofobního suchého křídového prachu, uvedené na obr. 34 vpravo.

obr. 35. Chemická analýza prokázala velké množství síry a vápníku včetně dalších prvků, což potvrzuje chemické složení sádrovce, ze kterého je popisová křída vyrobena. Podrobná chemická analýza je uvedena v příloze č.9.

11.4.4 Hydrofobní prachové částice křídý v kontaktu s vodou

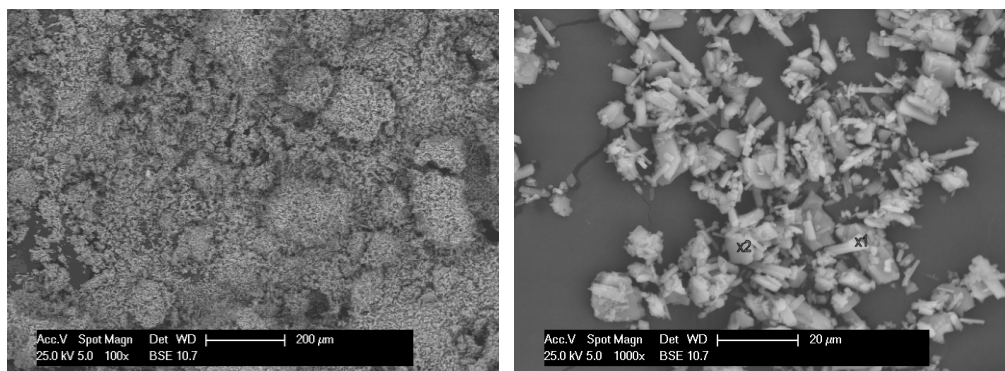
Na obr. 36 jsou zobrazeny hydrofobní prachové částice křídý, které byly, aplikovány do vody. Vlevo jsou patrné prachové částice včetně vzduchových bublin, které jsou přítomny pod hladinou kapaliny.



Obr. 36 Vzorek HFX2 hydrofobní křídový prach ve vodě, zvětšeno 5,5×.

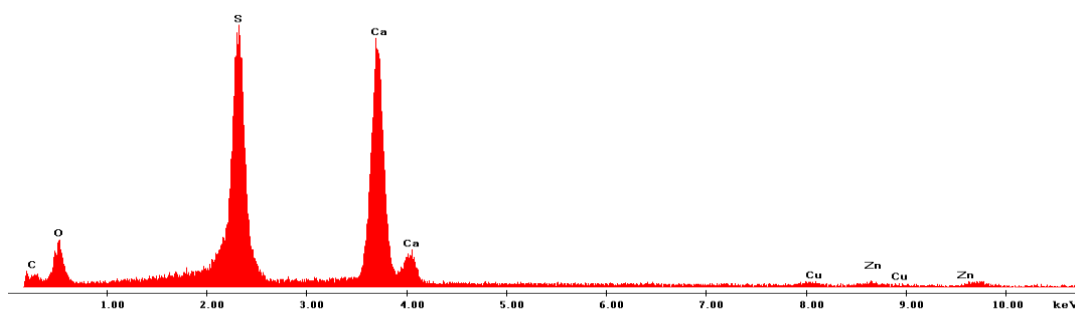
Vpravo detail bubliny s prachovými částicemi, zvětšeno 31×.

Vpravo je detail vzduchové bubliny přítomné na dně kapaliny s hydrofobními prachovými částicemi křídý, které jsou na povrchu vzduchové bubliny. Na obr. 37 je zobrazena SEM analýza křídových částic. Prachové částice tvořily shluky, které jsou



Obr. 37 Vzorek EDAX 751, výluh hydrofobní prachové částice křídý HFX2.

zobrazeny v pravé části obrázku. Jednotlivé částice měly rozměr v rozmezí 1 µm do 15 µm. Chemická analýza částic je uvedena na obr. 38. Podrobná chemická analýza je uvedena v příloze č.9.



Obr. 38 Vzorek EDAX 751. SEM analýza bodu x2 vyluhovaného hydrofobního křídového prachu, uvedené na obr. 37 vpravo.

Podobně jako u hydrofilních částic křídý, prokázala chemická analýza velké množství síry a vápníku vzhledem k částicím křídý hydrofilní.

Vstupní hydrofilní prachové částice křídý vykazovaly na základě měření SEM analýzou nejvyšší obsah vápníku a síry. Vyluhované hydrofilní prachové částice křídý, po kontaktu s vodou, vykazovaly nejnižší obsah vápníku a síry oproti vstupním hydrofilním a hydrofobním vyluhovaným prachovým částicím křídý. Impregnační sprej ovlivnil nejen malé snížení množství síry a vápníku oproti vstupní hodnotě, ale ovlivnil zejména původní tvar prachových částic křídý směrem do podoby kuliček a prokázal tímto vliv hydrofobie, což je patrné nejen z obr. 33 oproti obr. 27 s hydrofilními částicemi, ale také z obr. 32 a obr. 38 SEM analýzy s hydrofobními částicemi. Z výsledků lze předpokládat, že vyluhovaná síra do vodného roztoku může podporovat vznik chemické reakce vedoucí k tvorbě agresivního korozního prostředí. Pro stanovení

agresivity vody hodnotou pH, která je obsažena v nátěrovém systému a reaguje se síranem vápenatým obsaženým v popisové technické křídě lze předpokládat, že rozpuštěný síran vápenatý se působením vody disociuje na kationty Ca^{2+} a SO_4^{2-} , které ve vodě hydrolyzují na kyselinu sírovou a hydroxid vápenatý s následnou další disociací na ionty HSO_4^- , SO_4^{2-} , H^+ , CaOH^+ , Ca^{2+} , OH^- .

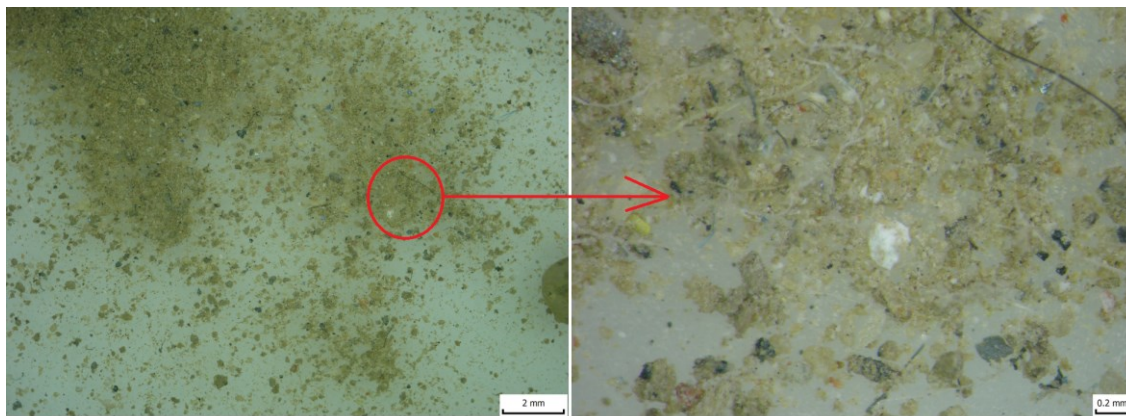
Na základě laboratorního měření vodou ředitelného nanolaku NOVAX VD-AK-3-289 o objemu 50 ml a pH 9,44 při teplotě 22.1 °C a vložení technické popisové křídý o hmotnosti 0,0895 g a jejím rozpuštění, vykazovala výsledná suspenze nanolaku nižší hodnotu pH 9,40. Současně bylo provedeno stanovení pH suspenze vody z vodovodního řádu s technickou popisovou křídou, kde byl použit stejný objem vody a hmotnost křídý jako u suspenze nanolaku, kde pH vody před vložení křídý bylo 8,16 a pH suspenze vody s křídou se snížilo na pH 7,91. Výsledky laboratorního měření prokázaly pravděpodobnost chemických reakcí, které mohou probíhat mezi nanolakem a hydrofilními částicemi obsahující ionty síry.

11.5 Hodnocení prachových částic cihly

Pro mikroskopické hodnocení mikroskopem OLYMPUS SZX7 byly připraveny hydrofobní a hydrofilní částice ve vysušeném stavu a ve stavu nevysušeném v kontaktu s vodou. SEM analýzou byly studovány částice ve vysušeném stavu a částice vysušené po kontaktu s vodou označené jako výluh, viz tab. 9. Fotodokumentace povrchů vzorků byla provedena v Centru nanotechnologií VŠB-TU Ostrava. Protokol měření je uveden v příloze č. 8.

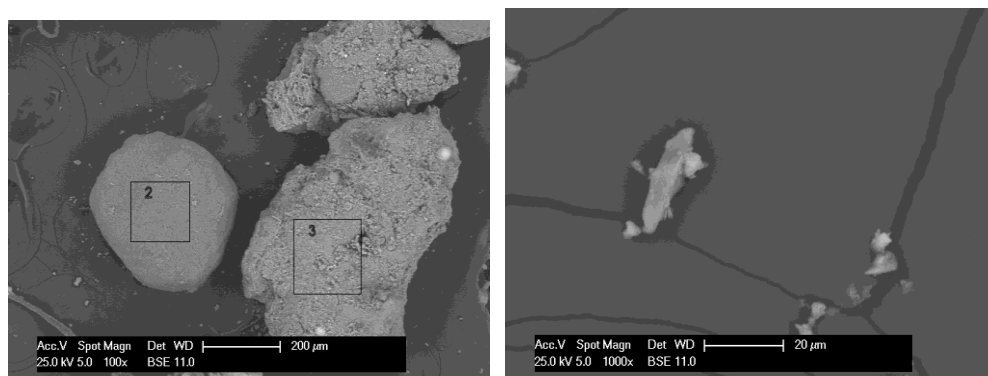
11.5.1 Suché hydrofilní prachové částice cihly

Na obr. 39 je zobrazen hydrofilní cihlový prach s drobnými prachovými a dalšími nečistotami.



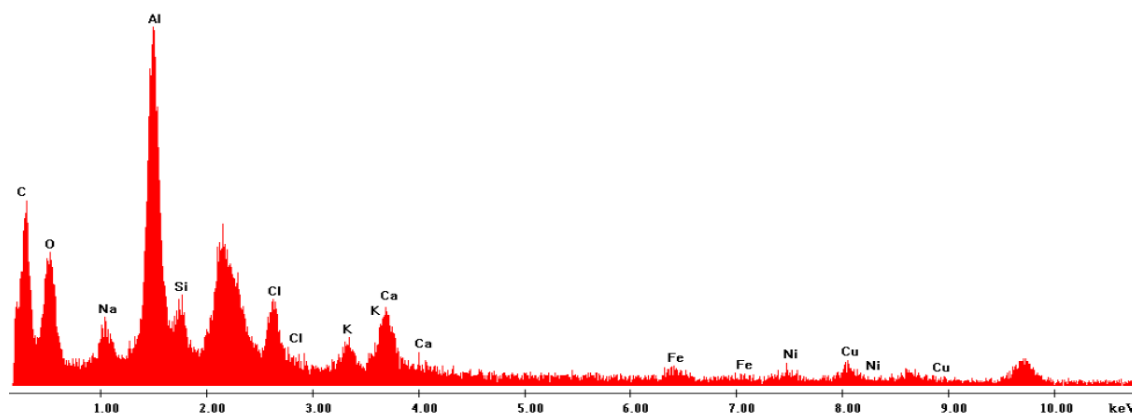
Obr. 39 Vzorek HC1. Hydrofilní cihlový prach, zvětšeno 5,5 \times . Vpravo detail cihlového hydrofilního prachu, zvětšeno 31 \times .

Na obr. 40 jsou zobrazeny pomocí analýzy EDX a SEM suché hydrofilní prachové částice cihly.



Obr. 40 Vzorek EDAX 752, suché hydrofilní prachové částice cihly HC1.

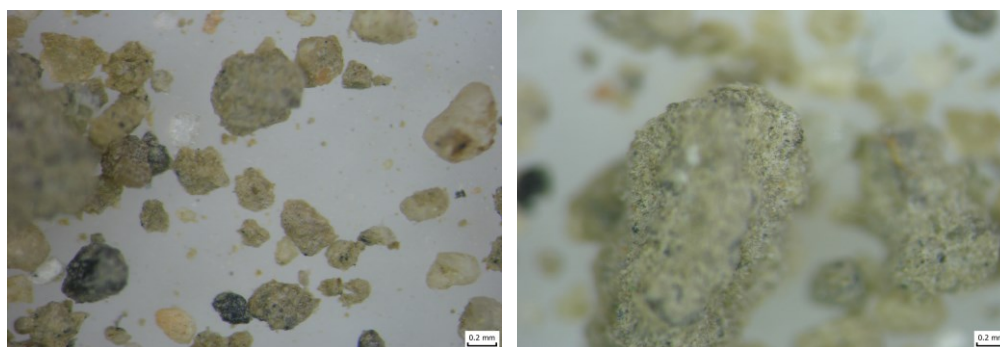
Při hodnocení hydrofilních suchých prachových částic cihly SEM analýzou byly pozorovány shluky různé velikosti, tvořené částicemi o rozměru větším než 1 μm . Na obr. 41 je zobrazena chemická analýza složení oblasti 2 částice z obr 40. vlevo. Prachová částice obsahovala velké množství hliníku, uhlíku, chlóru, křemíku, sodíku a vápníku. Podrobná chemická analýza je uvedena v příloze č.9.



Obr. 41 Vzorek EDAX 752. SEM analýza oblasti 2 suchého cihlového hydrofilního prachu, uvedeného na obr. 40 vlevo.

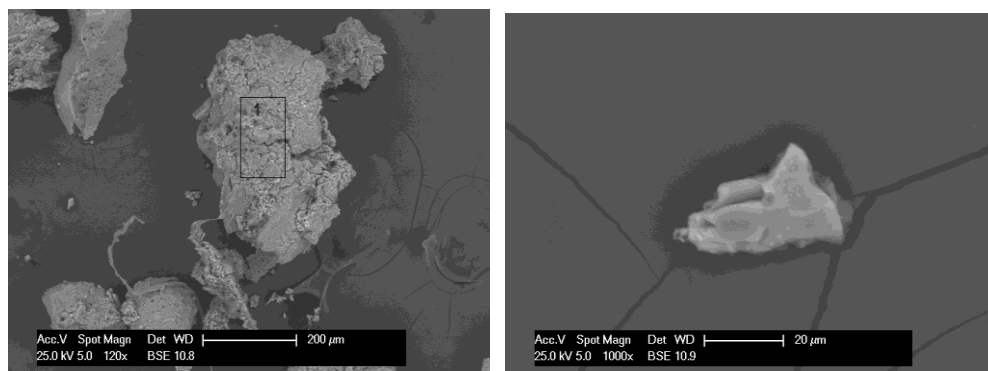
11.5.2 Hydrofilní prachové částice cihly v kontaktu s vodou

Na obr. 42 jsou zobrazeny hydrofilní prachové částice ve vodě. V levé části obrázku je zaostřen mikroskop na dno Petriho misky, ve které je umístěný hydrofilní prach s vodou. Většina hydrofilních částic se nachází na dně misky. Určitá část prachových částic zůstala na povrchu kapaliny. Jedná se o částice, které při aplikaci do kapaliny nepřekonal velikost povrchového napětí σ .



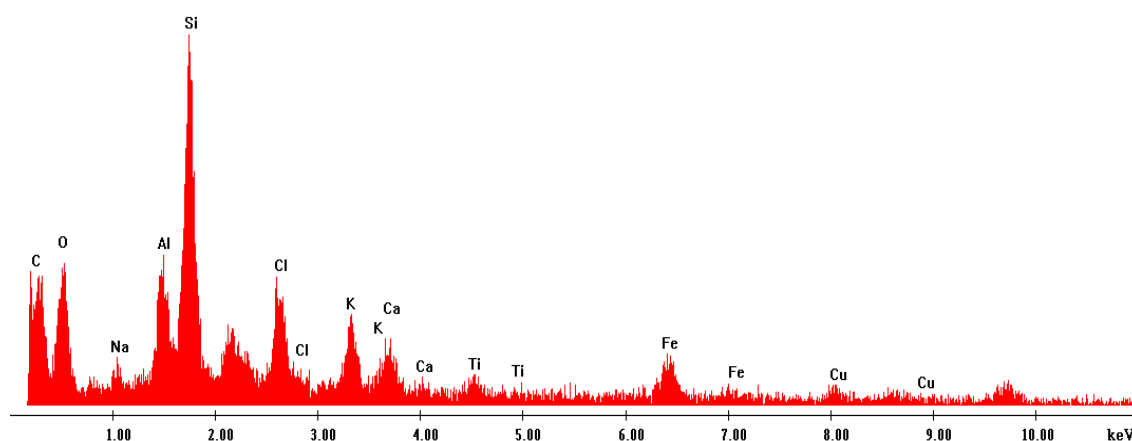
Obr. 42 Vzorek HC2. Hydrofilní cihlový prach ve vodné suspenzi - zaostřený na dno laboratorní misky, zvětšeno 31 \times .

Na obr. 42 vlevo jsou zobrazeny částice různých velikostí, homogenní částice, různé struktury a složení. Mikroskop byl zaostřen na dno Petriho misky s prachovými částicemi. Vpravo je zobrazena kompozitní částice pod hladinou kapaliny o velikosti cca 1 mm.



Obr. 43 Vzorek EDAX 753, výluh hydrofilních prachových částic cihly HC2.

Na obr. 43 jsou zobrazeny částice cihly s nečistotami o velikosti kolem 200 μm . Vpravo je detail sklovité částice o délce kolem 35 μm , která byla přidána do cihlové směsi.

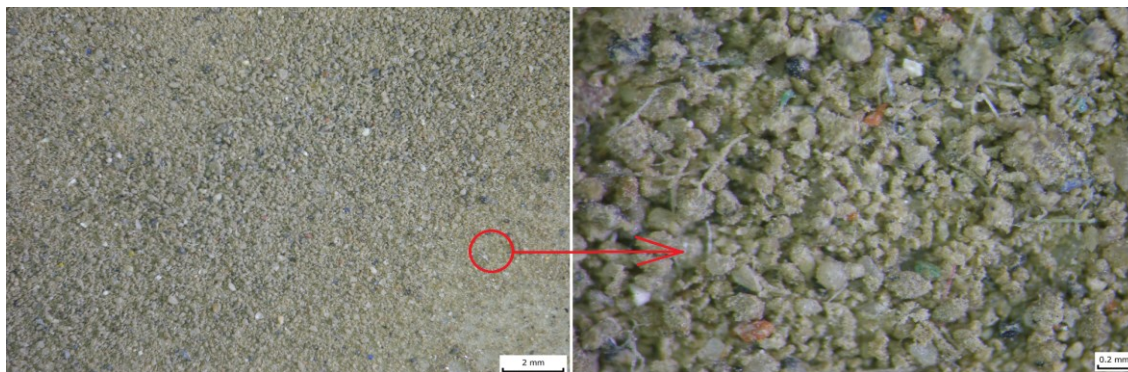


Obr. 44 Vzorek EDAX, 753 SEM analýza oblasti 1 vyluhovaného hydrofilního cihlového prachu, uvedeného na obr. 43. vlevo.

Z chemické analýzy na obr. 44 je zřejmé, že hydrofilní prachové částice cihly obsahovaly prvky například chlór, měď, sodík, uhlík apod., které mohou ve styku ocelový substrát a vodou ředitelný nátěrový systém tvořit základ elektrolytu korozního článku. Podrobná chemická analýza je uvedena v příloze č.9.

11.5.3 Suché hydrofobní prachové částice cihly

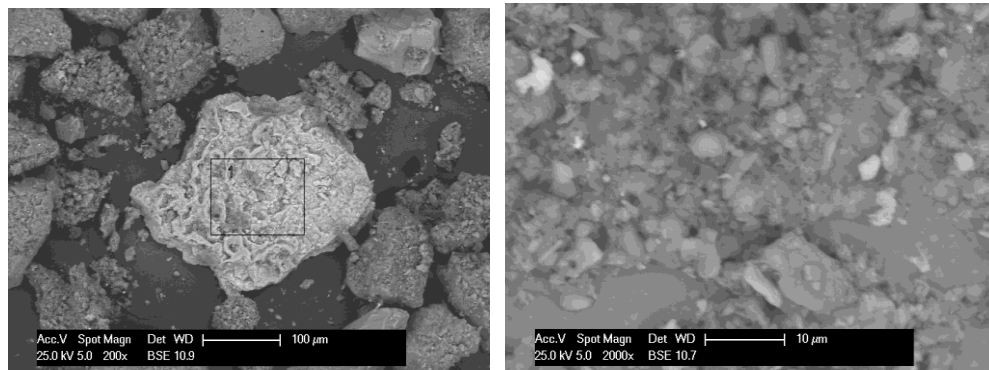
Při hodnocení hydrofobních suchých prachových částic cihly na optickém mikroskopu byly pozorovány vytvořené shluky částic různých tvarů a velikostí. Upravené prachové částice jsou zobrazeny na obr. 45.



Obr. 45 Vzorek HFB1. Suchý hydrofobní cihlový prach, zvětšeno 5,5 \times . Vpravo detail suchého hydrofobního cihlového prachu, zvětšeno 31 \times .

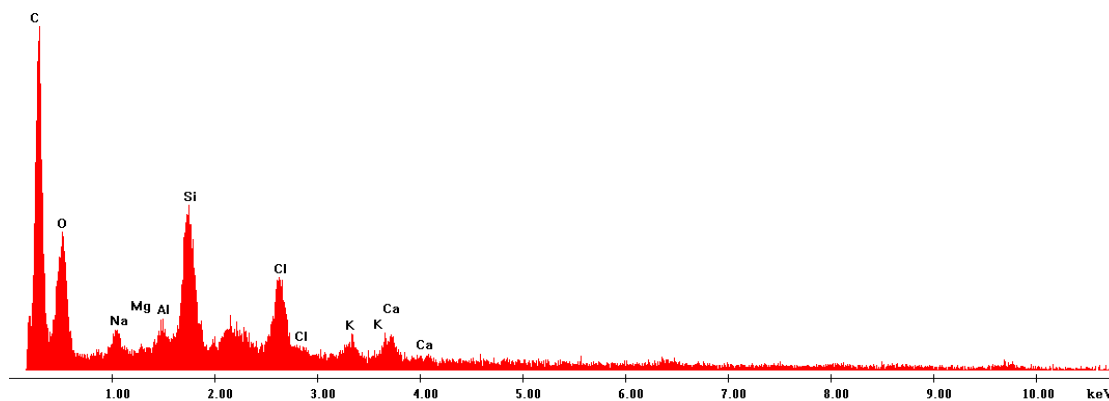
Spolu s cihlovými částicemi jsou patrné drobné přítomné nečistoty, viz obr. 45.

Na obr. 46 vlevo jsou zobrazeny částice zvětšeny 200 \times . Některé částice byly nerovnoměrně pokryty drobnými částicemi, které jsou zobrazeny na obr. 46 vpravo. Částice o rozměru přibližně 1 μ m pokrývaly většinu povrchu velmi rozměrných suchých hydrofobních prachových částic.



Obr. 46 Vzorek EDAX 754, suchých hydrofobních prachových částic cihly HFB1.

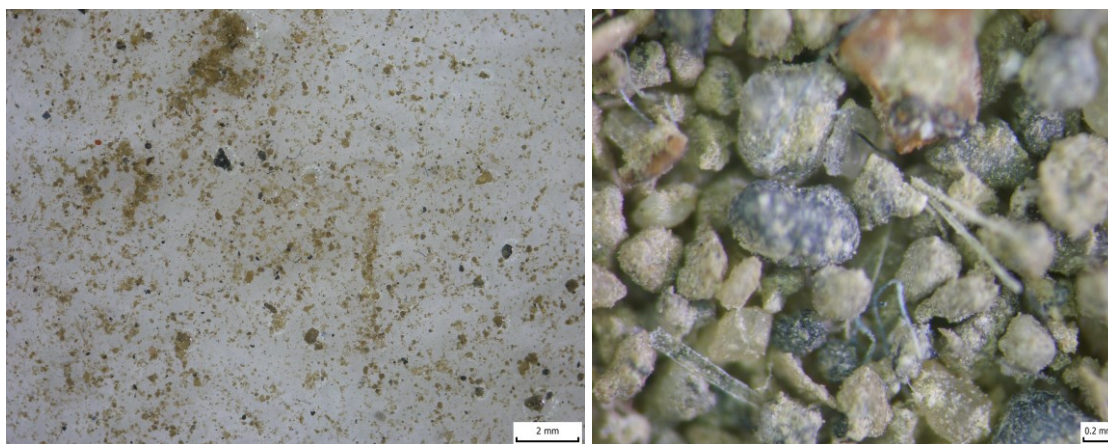
Na obr. 47 je zobrazena chemická analýza suchého hydrofobního prachu. Podrobná chemická analýza je uvedena v příloze č.9.



Obr. 47 Vzorek EDAX 754. SEM analýza oblasti 1 suchého hydrofobního cihlového prachu, uvedeného na obr. 46 vlevo.

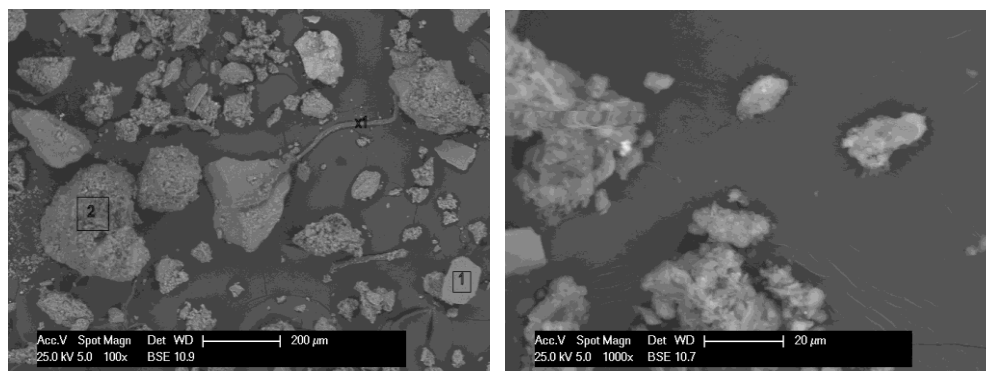
11.5.4 Hydrofobní prachové částice cihly v kontaktu s vodou

Na obr. 48 jsou zobrazeny hydrofobní cihlové prachové částice, které byly, aplikovány do vody. Vlevo jsou patrné prachové částice včetně vzduchových bublin, které jsou přítomny pod hladinou kapaliny. Detail hydrofobních prachových částic cihly je zobrazen na obr. 48 vlevo. Na obrázku jsou pozorovatelné drobné přítomné nečistoty.



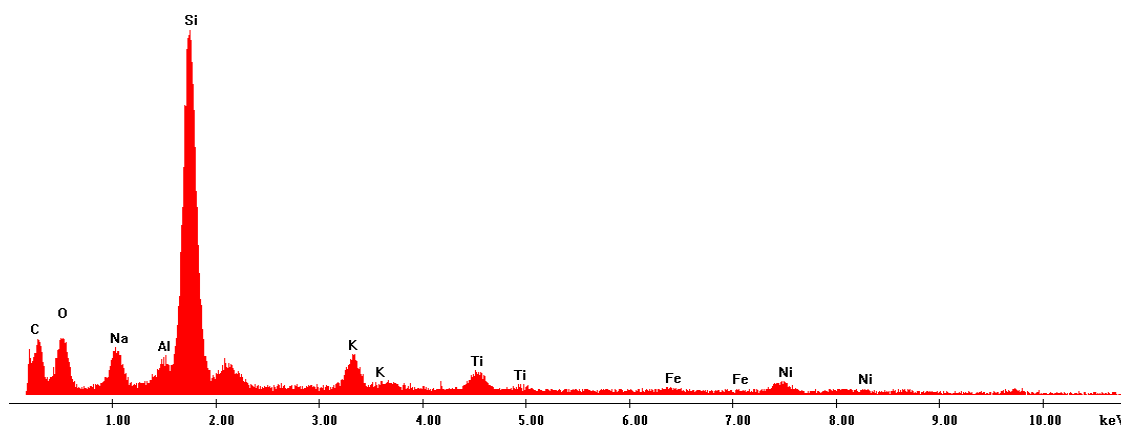
Obr. 48 Vzorek HFB2. Hydrofobní cihlový prach, zvětšeno 5,5×. Vpravo detail hydrofobního prachu, zvětšeno 31×.

Na obr. 49 vlevo jsou hydrofobní prachové částice zvětšeny 100×. Jsou zde



Obr. 49 Vzorek EDAX 755, vyluhované hydrofobní prachové částice cihly HFB2.

pozorovatelné částice větší než 200 µm, a částice menších rozměrů, viz. obr. 4. vpravo. Chemické složení prachových částic je uvedeno na obr. 50. Podrobná chemická analýza je uvedena v příloze č.9.

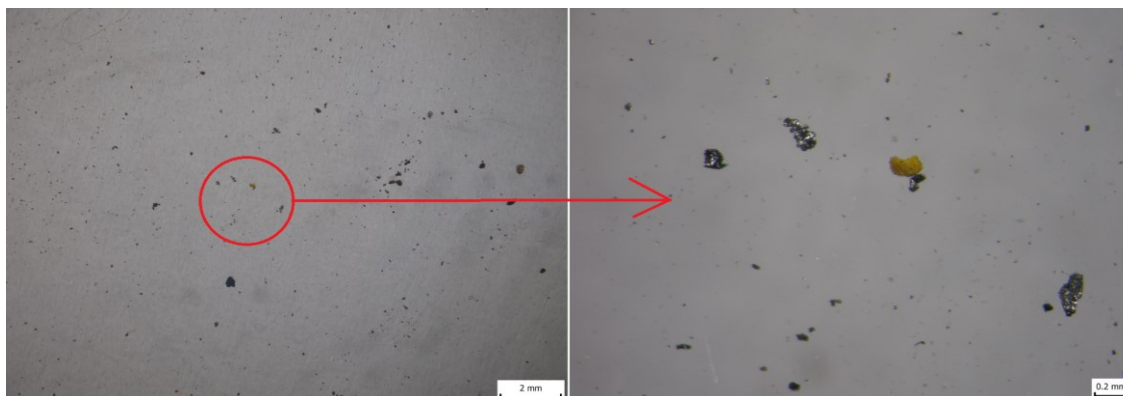


Obr. 50 Vzorek EDAX 755. SEM analýza oblasti 2 vyluhovaného hydrofobního cihlového prachu, uvedeného na obr. 49 vlevo.

11.6 Hodnocení prachových částic získaných z povrchu otryskaného substrátu

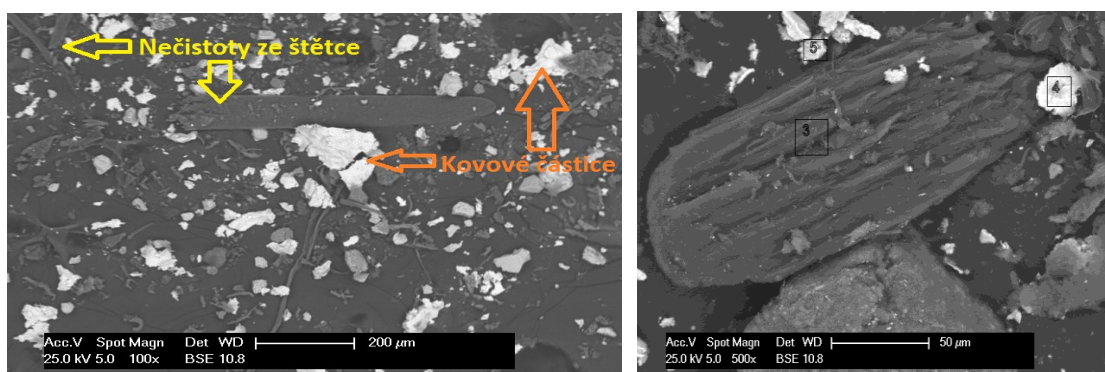
Prachové částice byly získány očištěním substrátu po procesu otryskání. Substrát byl čištěn mechanicky štětcem. Prachové částice byly jímány do laboratorní misky. Získané množství prachových částic pro další experimentální práce bylo omezené vzhledem k získanému objemu prachových částic. Protokol měření je uveden v příloze č. 8.

11.6.1 Suché prachové částice z otryskaného substrátu



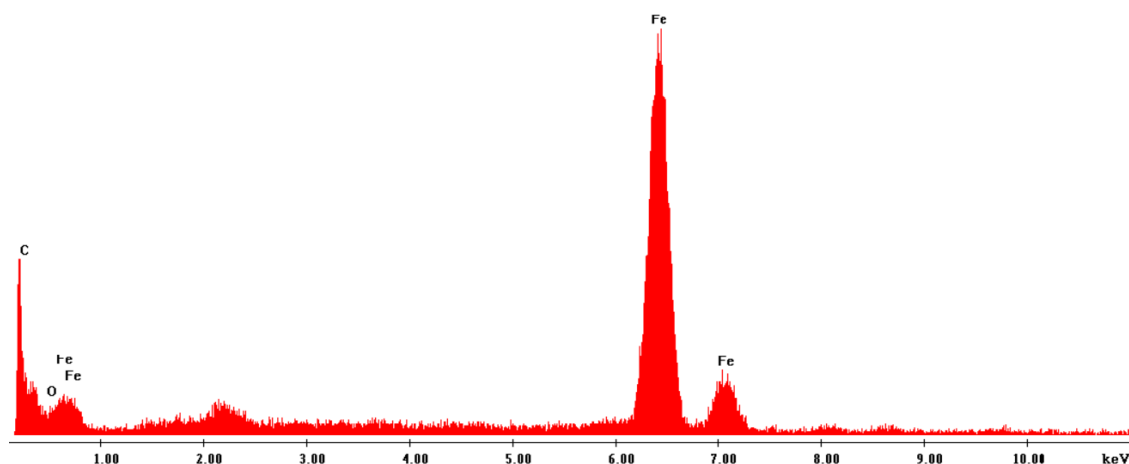
Obr. 51 Vzorek HTRYSK. Prachové částice sejmuté z otryskaného substrátu, zvětšeno 5,5 \times . Vpravo detail prachových částic, zvětšeno 31 \times .

Sejmuté prachové částice z experimentálních vzorků plechu jsou zobrazeny na obr. 51. Na detailu obr. 51. jsou zbytkové kovové částice po otryskání pozorované mikroskopem OLYMPUS SZX7.



Obr. 52 Vzorek EDAX 756, prachové částice sejmuté z otryskaného substrátu HTRYSK.

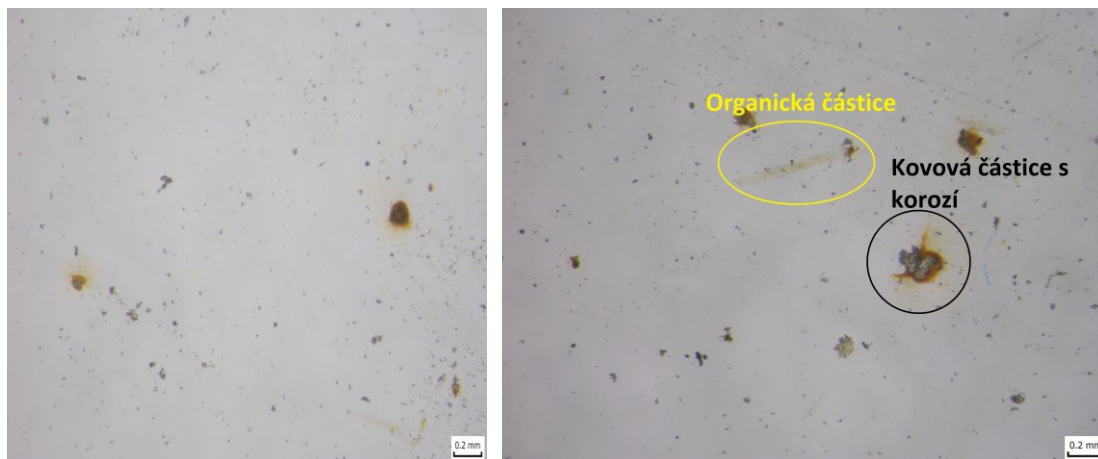
Na obr. 52 jsou sejmuté prachové částice po otryskání zvětšeny 100 \times mikroanalyzátozem EDAX PHILIPS XL 30. Světlé částice na obrázku jsou kovového charakteru. Částice lamelárního charakteru jsou částice organického původu. Částice organického původu se do vzorku zřejmě dostaly kontaminací ze štětce, kterým byly částice získány. Na obr. 53 je chemická analýza prachových částic vzorku 756. Podrobná chemická analýza je uvedena v příloze č.9.



Obr. 53 Vzorek EDAX 756. SEM analýza oblasti 4 nečistot otryskaného substrátu, uvedeného na obr. 52 vpravo.

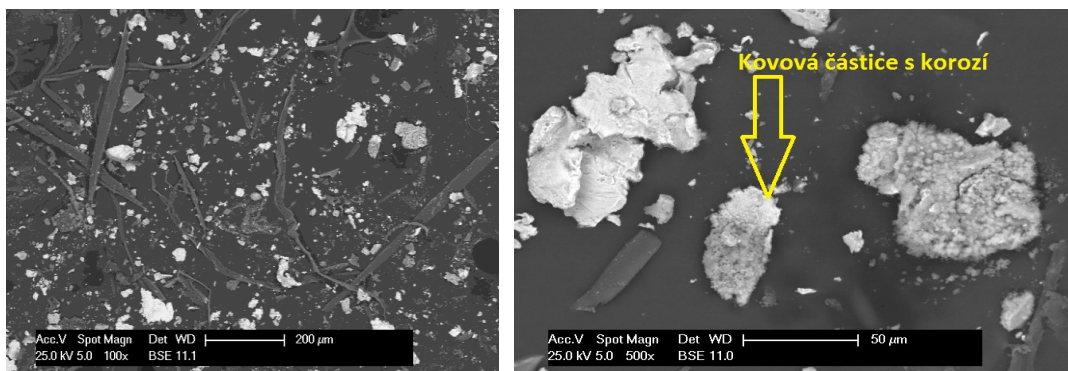
11.6.2 Prachové částice z otryskaného substrátu v kontaktu s vodou

Prachové částice byly vloženy do vody z vodovodního řádu o teplotě 22 °C a pH 7,94. Částice byly ve vodě exponovány 14 dní. Pozorování prachových částic bylo provedeno mikroskopem OLYMPUS SZX7.



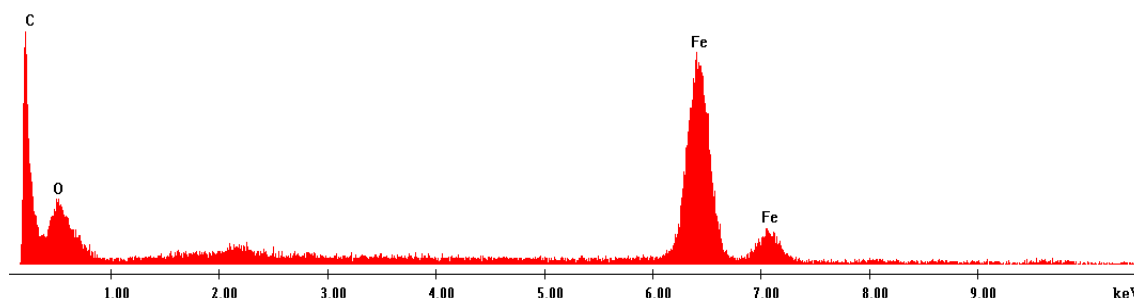
Obr. 54 Vzorek VZOREK2. Prachové částice sejmuté z otryskaného substrátu exponované ve vodě, zvětšeno 31×.

Prachové částice uvedeny na obr. 54 vykazovaly rozvíjející se korozi kovových částic, které jsou vyznačeny černě. Na obrázku jsou patrné zbytky drobných ulpělých částic (označeny žlutě) z použitého štětce při čištění substrátu.

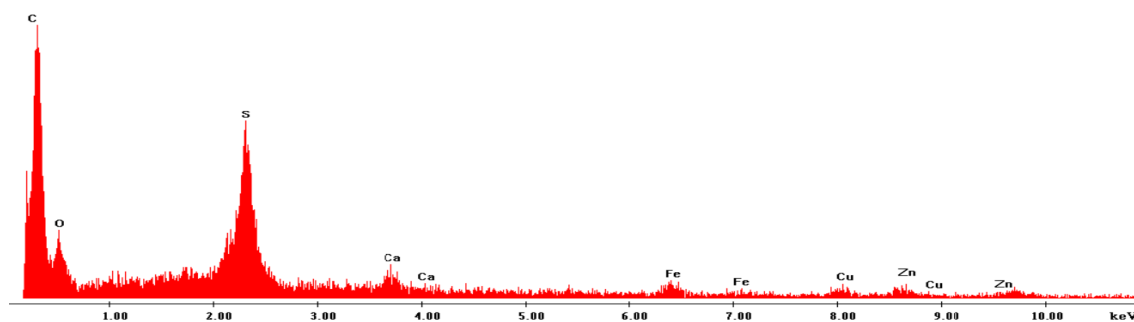


Obr. 55 Vzorek EDAX 757, vyluhované Prachové částice sejmuté z otrýskaného substrátu VZOREK2. Vlevo zvětšeno 100×, vpravo zvětšeno 500×

Na obr. 55 jsou vyluhované prachové částice po otryskání zvětšeny 100× mikroanalyzátozem EDAX PHILIPS XL 30.



Obr. 56 Vzorek EDAX 757. SEM analýza vyluhovaných částic z otrýskaného substrátu.



Obr. 57 Vzorek EDAX 757. SEM analýza vyluhovaných částic z otrýskaného substrátu.

Na obr. 56 je chemická analýza prachových částic vzorku 757. Z obr. 56 je patrné, že vzorek obsahuje zejména částice kovového charakteru, organické částice zastoupeny formou uhlíku a korozních částic obsahující kyslík viz. obr. 57. Podrobná chemická analýza je uvedena v příloze č.9.

11.7 Aplikace prachových částic na substrát

Aplikace prachových částic na substrát byla provedena v laboratoři VŠB-TU Ostrava. Připravené prachové částice hodnocené v kapitole 11.4, 11.5 a 11.6 byly aplikovány na substrát dle tab. 7. Prachové částice křídý a cihly byly aplikovány přes sítko, které zadrželo rozměrné částice. Vzhledem k minimálnímu množství prachových částic z otryskaných vzorků, byly prachové částice z laboratorní misky aplikovány přímo na substrát.

11.8 Hodnocení nátěrového systému pro experimentální práce

Transparentní transportní vodouředitelný nanolak NOVAX VD-AK-3-289 obsahuje akrylátovou disperzi, aditivum pro smáčivost, inhibitory koroze a antikorozní pigmenty. Antikorozní pigmenty jsou na bázi oxyaminofosfátového komplexu hořčíku a vápníku, které spolu s vodou rozpustným organickým inhibitorem jsou schopny vytvářet na kovovém povrchu ochranné pasivační tenké nanovrstvy o průměrné tloušťce 50 nm, které mají vysoké antikorozní vlastnosti proti atmosférickým podmínkám. Spolu s těmito antikorozními pigmenty zajišťuje korozní odolnost komplex oxidu zinku [44].

Aplikovaný transparentní transportní nátěrový vodou ředitelný nanolak NOVAX VD-AK-3-289 dále obsahuje hydrofobní Aerosil R 805, viz. příloha č.10 který na základě experimentálních zkoušek nejlépe vyhovoval výrobci nanolaku, viz. příloha 10. Hydrofobní Aerosil R 805 o rozměru 12 nm je nanodisperzní SiO₂ modifikovaný oktylsilanem. Aerosilové složky zvyšují antikorozní vlastnosti a tixotropii nanolaku. Tixotropie je reologická vlastnost některých pseudoplastických a plastických systémů, které jsou podrobeny smykovému namáhání (míchání, třepání apod.) a jeví zpočátku vysokou zdánlivou viskozitu, která s časem postupně klesá. Je-li systém ponechán v klidu, původní struktury se opět obnovují a viskozita se asymptoticky blíží původní vysoké hodnotě. Hydrofobní Aerosil v nátěrovém systému plní funkci antikoroziho pigmentu a zahušťovadla a zároveň současně ulpívá na fázovém rozhraní substrát - nátěrový systém, kde plní funkci odpuzovače vody. Proto je možno předpokládat potlačení korozního procesu, pokud na povrchu nebudou přítomné hydrofilní částice. Při aplikaci nátěrového systému NOVAX VD-AK-3-289 vzniká díky obsahu fosfátových složek na bázi na vápníku, hořčíku a komplexu oxidu a hydroxidu zinku

na rozhraní substrát nátěrový systém nanometrická vrstva, která chrání substrát před korozním procesem. Přesné složení nátěrového systému NOVAX VD-AK-3-289 není výrobcem deklarován z důvodu patentové ochrany.

11.9 Aplikace nátěrového systému

Při aplikaci nanolaku štětcem bylo postupováno v souladu s patentem č. 304 190 ze dne 6.11.2013.

Substrát před aplikací nanolaku byl předehříván 10 minut na teplotu 40 °C, Transparentní transportní vodou ředitelný nanolak NOVAX VD-AK-3-289 byl zředěn s vodou z vodovodního řádu v poměru 10:1 (nátěrový systém : voda) Po předehřátí substrátu byl nanolak aplikován na substrát s následným vytvrzením nátěru s časem 20 minut při teplotě 70 °C a poté volně ochlazován na vzduchu.

12 POPIS EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK

V této kapitole jsou popsány jednotlivé zkoušky experimentálního měření.

12.1 Vizualní hodnocení čistoty povrchu po otryskávání dle ČSN EN ISO 8501-1

Norma ČSN EN ISO 8501-1 „Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Vizualní vyhodnocení čistoty povrchu - Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků“, řeší vizualní stupně prorezavění a stupně přípravy povrchu před nanesením nátěrového systému.

Norma specifikuje řadu stupňů „Sa“ čistoty substrátu bez povlaku po otryskání, které jsou uvedeny v tab. 10. Norma popisuje čistotu povrchu podle jejího vizualního vzhledu. [38]

Tab. 10 Stupně čistoty substrátu po otryskání [38]

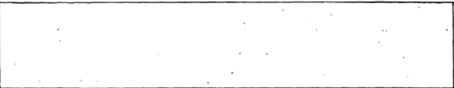

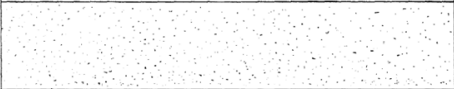
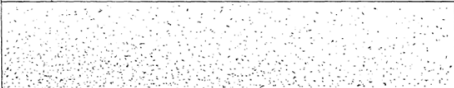
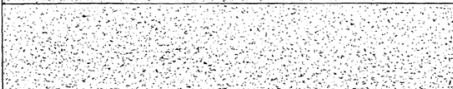
Stupeň čistoty	Intenzita otryskání	Popis povrchu
Sa 1	Lehké otryskání	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý viditelných olejů, mastnoty a nečistot, málo přilnavých okují, rzi, nátěrů a cizích látek.
Sa 2	Důkladné otryskání	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý viditelných olejů, mastnoty a nečistot, bez většiny okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Všechny zbylé nečistoty musí být pevně přilnavé.
Sa 2 1/2	Velmi důkladné otryskání	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý viditelných olejů, mastnoty a nečistot, okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Všechny zbylé nečistoty musí vykazovat pouze lehké zabarvení ve formě skvrn nebo pruhů.
Sa 3	Otryskání až na vizuálně čistý ocelový povrch	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý viditelných olejů, mastnoty a nečistot, okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Povrch musí mít jednotný kovový vzhled.

12.2 Hodnocení zaprášení povrchu dle ČSN ISO 8502-3

Norma ČSN ISO 8502-3 „Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu - Část 3: Stanovení prachu na ocelovém substrátu připraveném pro aplikaci nátěrového systému (metoda snímání samolepící páskou)“ se zabývá množstvím prachových částic a zbytků na ocelovém substrátu před aplikací nátěrového systému.

Podstata metody

Samolepící páska je přitlačována na ocelový substrát, připravený pro aplikaci nátěrového systému. Páska se zachycením prachu se sejme, umístí se na podklad, který má kontrastní barvu proti zachycenému prachu, a provede se vizuální posouzení. Množství zachyceného prachu na pásce a velikost částic prachu se hodnotí odhadem. Je vyhodnocována převládající velikost částic na samolepící pásce. Je postupováno v souladu s obr. 58 a substrátu, která definuje třídy velikosti prachových částic. [40]

	1
	2
	3
	4
	5

Obr. 58 Stupnice pro vyhodnocení množství prachových částic. [40]

Pro každý povrch určitého typu je nutno provést minimálně tři oddělená hodnocení. Jestliže se výsledky liší o jeden nebo více stupňů co do množství, je nutno provést další dvě následná hodnocení pro rozhodnutí o výsledku. V tab. 11 jsou zobrazeny třídy velikosti prachových částic.

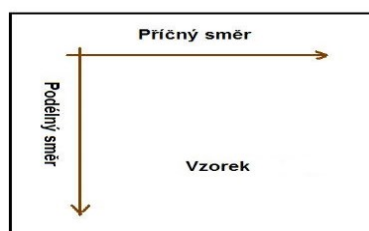
Tab. 11 Třídy velikosti prachových částic. [40]

Třída	Popis prachových částic
0	Částice neviditelné při zvětšení 10 x
1	Částice viditelné při zvětšení 10 x, ale ne prostým okem (obvykle částice 0,05 mm v průměru).
2	Částice již viditelné prostým okem (obvykle částice mezi 0,05 mm až 0,10 mm v průměru).
3	Částice jasně viditelné prostým okem (Částice od 0,5 mm v průměru).
4	Částice mezi 0,5 a 2,5 mm v průměru.
5	Částice větší než 2,5 mm v průměru.

Po ukončení hodnocení, před nanášením nátěrů je nutno z povrchu odstranit všechny zbytky samolepící pásky a lepidla. [40]

12.3 Měření drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 4287

Norma ČSN EN ISO 4287 „Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu“, vymezuje termíny a definice pro měření drsnosti povrchu. Pro měření drsnosti povrchu dle normy byl použit přístroj Mitutoyo Surftest SJ-301. Měření drsnosti bylo prováděno v příčném i podélném směru dle obr. 59. Výsledky měření byly vyhodnoceny měřicím přístrojem dle normy automaticky. Naměřená data byla zobrazena na displeji měřicího přístroje.



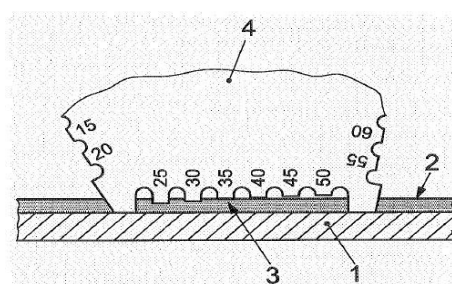
Obr. 59 Směr měření drsnosti

12.4 Stanovení tloušťky mokré a suché vrstvy nátěrového systému dle ČSN EN ISO 2808

Norma ČSN EN ISO 2808 „Nátěrové hmoty - Stanovení tloušťky nátěru“, popisuje metody, které lze použít pro měření tloušťky povlaků nanesených na podklad. V normě jsou popsány metody pro stanovení tloušťky mokrého filmu, suchého filmu a nevytvrzených vrstev práškových nátěrových hmot. [32]

Stanovení tloušťky mokrého filmu dle ČSN EN ISO 2808

Pro měření mokré vrstvy byl použit měřicí hřeben, který byl vyroben z korozně odolného materiálu se zuby podél svého okraje viz obr. 60. Referenční zuby v rozích desky tvoří základní linii, podél které jsou seřazeny vnitřní zuby tak, že tvoří odstupňovanou řadu mezer. Každý zub je označen odpovídající hodnotou tloušťky. [32]



Obr. 60 Měření mokré vrstvy. [32]

Legenda: 1. podkladový materiál, 2. nátěrový systém, 3. bod smočení, 4. měřicí hřeben

Maximální tloušťku, kterou můžeme změřit tloušťku mokré vrstvy je v rozmezí 0,05 mm až 2 mm.

Stanovení tloušťky suché vrstvy nátěrového systému

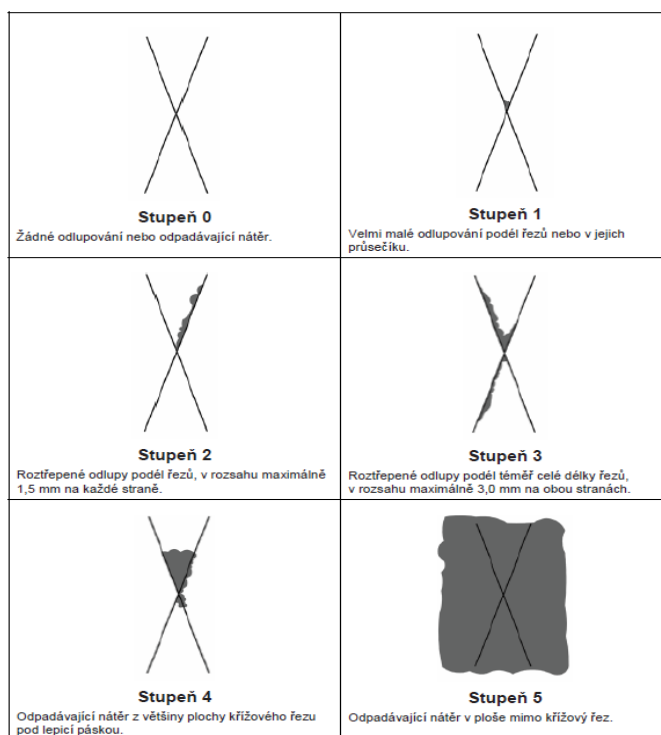
Pro měření suché vrstvy byl použit digitální tloušťkometr ELCOMETR 456. Měření tloušťky suché vrstvy přístrojem ELCOMETR 456 se řadí mezi nedestruktivní měřicí metody. ELCOMETR 456 měří tloušťku nemagnetických suchých povlaků na feromagnetickém podkladu. Měřicí přístroj provádí měření tloušťky suché vrstvy automaticky. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny na displeji přístroje.

12.5 Měření přilnavosti nátěru křížovým řezem dle

ČSN EN ISO 16276-2

Norma ČSN EN ISO 16276-2 „Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými systémy - Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku - Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez“, popisuje postup při hodnocení přilnavosti nátěrových systémů, do nichž je provedený řez v podobě X nebo mřížky tak, aby pronikl k podkladovému kovu. Jedná se o destruktivní zkoušku.

Metoda křížového řezu vyžaduje, aby povlakem byl ostrým nástrojem veden řez ve tvaru X pod úhlem 30-45° o délce řezu 40 mm. Pro hodnocení se používá samolepící páska, která se umístí do středu křížku a uhladí se prstem tak, aby křížek překrývala minimálně 50 mm. Samolepící páska se uchopí za volný konec a stáhne se za 0,5 až 1,0 s pod úhlem přibližně 60°. Páska se pro případnou další potřebu přilepí na arch průhledné fólie. Výsledek zkoušky a tím i stupeň přilnavosti je vyjádřen dle normy na obr. 61 jako číselné hodnocení odpovídající pozorovanému poškození v rozsahu stupně 0-5. [42]



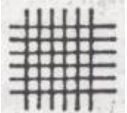
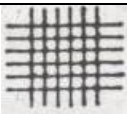
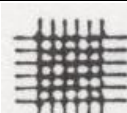

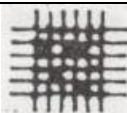
Obr. 61 Vyhodnocení zkoušky křížového řezu. [42]

12.6 Měření přilnavosti mřížkovou zkouškou dle ČSN EN ISO 2409 a ČSN EN ISO 16276-1

Mřížková zkouška se řadí mezi destruktivní zkoušku. Zkouška se provádí nejméně na třech různých místech daného vzorku. V příčném i podélném směru se vytvoří šest rovnoběžných řezů o vzdálenosti mezi řezy odpovídající tloušťce povlaku mezi řezy. [33]

Pro hodnocení se používá samolepící páska, která se umístí do středu mřížky a uhladí se prstem tak, aby mřížku překrývala minimálně 50 mm. Samolepící páska se uchopí za volný konec a stáhne se za 0,5 až 1,0 s pod úhlem přibližně 60°. Páska se pro případnou další potřebu přilepí na arch průhledné fólie. Vyhodnocení zkoušky je v tab. 12. [33] Ve většině případů je doporučován křížový řez pro hodnocení přilnavosti.

Tab. 12 Vyhodnocení mřížkové zkoušky. [33]

Klasifikace	Popis	Vzhled
0	Řezy jsou zcela hladké, žádný čtverec není poškozen.	
1	Nepatrné poškození v místech, kde se řezy kříží. Poškozená plocha nesmí přesahovat 5 %.	
2	Nátěr je nepatrně poškozen podél řezů a při jejich křížení. Povrch mřížky smí být poškozen o více než 5 % a méně než 15 % celkové plochy.	
3	Nátěr je částečně poškozen v rozích řezů, podél řezných hran částečně nebo celý, na různých místech mřížky. Poškození mřížky je větší než 15 %, ale menší než 35 %.	
4	Na nátěru jsou velké změny v rozích řezů a některé čtverečky jsou částečně nebo zcela poškozeny. Plocha mřížky je poškozena z více jak 35 %, ale méně než 65 %.	
5	Změny, které jsou větší než u stupně 4	

12.7 Korozní zkouška solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227

Norma ČSN EN ISO 9227 „Korozní zkouška v umělé atmosféře - Zkoušky solnou mlhou“, stanoví přístroje, chemikálie a postup pro zkoušky v mlze neutrálního chloridu sodného, v mlze okyseleného roztoku chloridu sodného a v mlze okyseleného roztoku chloridu měďnatého, kterými se zjišťuje protikorozní odolnost kovových materiálů jak nechráněných, tak i s ochrannými povlaky nebo s dočasnou protikorozní ochranou. [41]

Korozní zkouška v umělé atmosféře probíhá ve zkušební komoře automaticky. Průběh zkoušky se řídí normou ČSN EN ISO 9227. V solné komoře LIEBISCH S400 M-TR jsou definovány následující korozní podmínky:

- Tlak destilované vody $2,50 \div 3,00$ bar
- Tlak vzduchu $3,00 \div 4,00$ bar
- Průtok vody $0,45$ l/hod
- Teplota navlhčovače $55,00$ °C
- Teplota prostředí $35,00 \pm 2,00$ °C
- Vlhkost $100,00$ %
- Solná mlha - $5,00$ % vodný roztok NaCl

12.7.1 Hodnocení defektů a intenzity změn vzhledu nátěrů dle ČSN EN ISO 4628-1

Norma ČSN EN ISO 4628-1 „Nátěrové hmoty - Hodnocení degradace nátěrů - klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu“ definuje systém pro klasifikaci množství a velikosti defektů a intenzity změn vzhledu nátěrů. Norma hodnotí defekty způsobené stárnutím, namáháním na povětrnosti, změny barevného odstínu povrchu. Množství defektů, představovaných nepravidelnostmi nebo místnímu defekty na nátěru rozptýlenými na zkoušené ploše je uvedeno v tab. 13. [35]

Tab. 13 Číselná schéma pro klasifikaci defektů. [35]

Klasifikace	Množství defektů
0	Žádné, tj. žádné zjistitelné defekty
1	Velmi málo, tj. malý, téměř nevýznamný počet defektů
2	Málo, tj. malý, ale důležitý počet defektů
3	Mírný počet defektů
4	Značný počet defektů
5	Povrch hustě pokrytý defekty

12.7.2 Hodnocení stupně puchýřkování nátěrů dle ČSN EN ISO 4628-2

Norma ČSN EN ISO 4628-2 „Nátěrové hmoty - Hodnocení degradace nátěrů - Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzita jednotných změn vzhledu - Část 2: Hodnocení stupně puchýřkování“, popisuje metodu hodnocení stupně puchýřkování nátěrů na povrchu porovnáváním s obrázkovými standardy. Hustota a velikost puchýřků se klasifikuje vizuálně podle obrázků 1 - 4 uvedených v normě, společně s přibližnými rozměry plochy nebo procentuálně vyjádřeným poměrem této plochy k celkové ploše dle ČSN EN ISO 4628-2. [36]

12.7.3 Hodnocení stupně prorezavění nátěrů dle ČSN EN ISO 4628-3

Hodnocení stupně prorezavění dle ČSN EN ISO 4628-3 - Nátěrové hmoty - Hodnocení degradace nátěrů - Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu - Část 3: Hodnocení stupně prorezavění.

Norma popisuje metodu stanovení stupně prorezavění nátěrů porovnáním s obrázkovými standardy. Stupeň prorezavění R_i na nátěru se hodnotí pomocí obrázkových standardů uvedených na obrázcích 1 až 5 uvedených v normě. Přibližné plochy s výskytem rzi pronikající na povrch a viditelného podkorodování znázorněné na těchto standardech jsou uvedeny v tab. 14. Pokud je v různých částech zkoušené plochy vyhodnocen různý stupeň prorezavění, uvede se tento stupeň vždy spolu s příslušnou částí plochy. [36]

Tab. 14 Stupeň prorézavění a plocha s výskytem rzi [36]

Stupeň prorézavění	Plocha s výskytem rzi [%]
Ri 0	0,00
Ri 1	0,05
Ri 2	0,50
Ri 3	1,00
Ri 4	8,00
Ri 5	40,00 až 50,00

12.8 Korozní zkouška v kondenzační komoře dle ČSN 03 8131

Norma ČSN 03 8131 „Korozní zkouška v kondenzační komoře“ je vhodná k posuzování odolnosti kovových materiálů a ochranných povlaků ve vlhkých, čistých nebo průmyslově znečištěných atmosférách. V kondenzační komoře je vzorek vystaven působení rozhodujících činitelů atmosférické koroze, tj. kondenzaci vodních par za zvýšené teploty a za případného spolupůsobení znečištění zkušebního prostředí. Konstrukce zkušebního zařízení není normalizováno, musí však být dodrženy tyto podmínky: [31]

- Zkušební komora musí být vyrobena z nekorodujícího materiálu
- Tvar komory musí zajišťovat, aby nedocházelo ke skapávání zkondenzované vody ze stěn na vzorky.
- Komora musí být opatřena vytápěním a automatickou regulací uvnitř teploty.
- Zkušební prostor komory musí být vyhříván pouze vodní lázní na dně komory.
- Vodní lázeň musí zaujímat prostor 7-10 % celkového objemu komory.

Zkušební prostředí:

- Ve zkušební prostoru komory musí být během zkoušky udržovaná teplota $35\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ a 100 % relativní vlhkost vzduchu.
- Vodní lázeň na dně zkušební komory je tvořena destilovanou vodou nebo vodou demineralizovanou obsahující méně než 100 ppm rozpustných pevných látek a její vodivost musí být menší než $20\text{ }\mu\text{S/cm}$.

Při hodnocení výsledků zkoušek, zejména u vzorků složitějšího tvarového

uspořádání je nutné přihlížet k tvaru a sklonu jednotlivých hodnocených povrchů a jejich vlivu na stupeň korozního znehodnocení. Při porovnávacích zkouškách je nutné vzájemně srovnávat vždy odpovídající plochy a zhodnotit i případný vliv tvaru z hlediska možnosti zadržování a shromažďování kondenzátu. Podle charakteru vzorků a účelu zkoušky se provádí vyhodnocení stanovením hmotnostních nebo rozměrových změn podle ČSN 03 8102 nebo vzhledovým hodnocením. [31]

13 HODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK

V kapitole je prováděno vyhodnocování jednotlivých experimentálních zkoušek.

13.1 Hodnocení čistoty povrchu substrátu po otryskání dle ČSN EN ISO 8501-1

Vizuální hodnocení vzorků čistoty povrchu substrátu bylo hodnoceno dle ČSN EN ISO 8501-1. Hodnocení bylo provedeno u vzorků Vz.4 až Vz.5 a Vz.7 až Vz.24 a K01 až K06 stupni Sa dle tab. 15. Povrch ocelových substrátů byl očištěn mechanicky a připraven pro další experimentální práce.

Tab. 15 Stupeň čistoty povrchu substrátu dle ČSN EN ISO 8501-1.

Označení vzorku	Rozměr substrátu	Stupeň čistoty
Vz.4 až Vz.5 a Vz.7 až Vz.24	150×100×3	Sa 3 Otryskání až na vizuálně čistý povrch
K01 až K06	150×30×3	Sa 3 Otryskání až na vizuálně čistý povrch

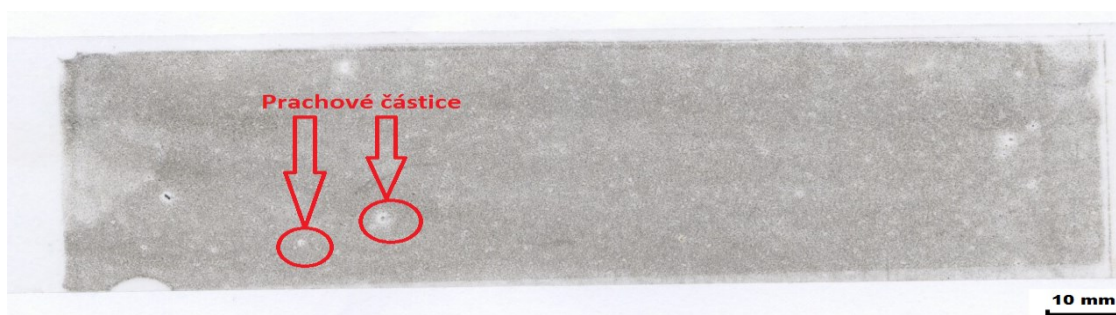
Mechanické očištění substrátu bylo vhodně provedeno pro následnou aplikaci nátěrového systému.

13.2 Hodnocení čistoty povrchu substrátu po otryskání dle ČSN EN ISO 8502-3

Hodnocení čistoty povrchu experimentálních vzorků dle ČSN EN ISO 8502-3 bylo provedeno v laboratoři VŠB-TU Ostrava. V laboratoři byla teplota 19 °C a relativní vlhkost 22 %. Z celé stejné série zpracovávaných vzorků po otryskání, byl vybrán reprezentativní vzorek s označením Vz. 24. Pro experimentální práce byla použita průhledná adhezni samolepící páska o šířce 50×200 mm. Adhezni páska byla na vzorek lehce přitlačena a odtržena pod úhlem 180°. Sejmutá adhezni páska ze vzorku byla nalepena na kontrastní papír, viz. obr. 62. Vyhodnocení bylo provedeno pomocí 10-ti násobného zvětšení lupou a zaznamenáno do tab. 16. U všech dalších sledovaných

vzorků byl stupeň zaprášení stejný, včetně hodnocení velikosti prachových částic.

Hodnocení čistoty povrchu bylo provedeno po otryskání substrátu. Ulpělé částice na povrchu substrátu pocházejí z procesu otryskání. Prachové částice na sejmuté adhezni pásce vykazovaly souvislou vrstvu. Většina prachových částic, které ulpěly na povrchu substrátu nebyly pozorovatelné pouhým okem. Částice viditelné okem tvořily abarazivo, okuje, zbytky po otryskání, které ulpěly na povrchu substrátu při procesu otryskání. Rozměry okem viditelných částic byly v rozmezí 0,2 až 0,7 mm.



Obr. 62 Sejmutá adhezni páska s prachovými částicemi

Tab. 16 Stupeň zaprášení a velikost prachových částic substrátu po otryskání.

Vzorek	Stupeň zaprášení	
Vz. 24	4	Povrch vykazoval velké množství prachových částic
Vzorek	Třída velikosti prachových částic	
Vz. 24	1	Částice viditelné při zvětšení 10×

Tab. 17 Stupeň zaprášení a velikost prachových částic substrátu po záměrné aplikaci experimentálních prachových částic.

Vzorek	Stupeň zaprášení	
K02 až K05 Vz.13 až Vz.24	5	Povrch vykazoval velké množství prachových částic
K06 Vz.10 až Vz.12	4	Povrch vykazoval velké množství prachových částic
Vzorek	Třída velikosti prachových částic	
K02 až K05 Vz.13 až Vz.24	1	Částice viditelné při zvětšení 10×
K06 Vz.10 až Vz.12	3	Částice jasně viditelné prostým okem

Hodnocení čistoty povrchu bylo provedeno po nanesení uměle vyrobených prachových částí. Prachové částice u experimentálních vzorků K02 až K05 a Vz.13 až Vz.24 na povrchu substrátu vykazovaly souvislou vrstvu nanesených uměle vyrobených experimentálních částic. Uměle nanesené částice byly zřetelně viditelné pouze při zvětšení lupou.

Hodnocení čistoty povrchu u experimentálních vzorků K06 a Vz.10 až Vz.12 má podobný charakter hodnocení jako hodnocení experimentálního vzorku uvedeného v tab. 17. Vlivem čištění experimentálních vzorků se do experimentálních částí přimísila kontaminace částicemi ze štětce, kterým se prachové částice ze substrátu získaly.

13.3 Měření drsnosti substrátu dle ČSN EN ISO 4287

Drsnost byla měřena na substrátu otryskaném, očištěném a substrátu s nanesenými prachovými částicemi. Pro měření drsnosti bylo použito digitálního měřicího přístroje Mitutoyo Surftest - SJ 301. Přístroj měří různé hodnoty dle norem, které jsou popsány v kapitole 3.3. V rámci experimentálních prací byly drsnoměrem měřeny $3\times$ u každého experimentálního vzorku veličiny R_z a R_a . Měření bylo realizováno v příčném směru $\rightarrow X$ a podélném směru $\downarrow Y$ viz obr. 59. Výsledky měření byly zobrazeny formou číselných hodnot na displeji přístroje a zapsány do tabulky. Dílčí měření a grafy profilů drsnosti jsou uvedeny v příloze č. 2.

13.3.1 Měření drsnosti substrátu po otryskání bez odprášení

Tab. 18 Nastavení drsnoměru Mitutoyo Surftest - SJ 301

Parametry měření			
Standard	ISO 97	L	8 mm
Profile	R	λ_c	8 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS

Měření drsnosti povrchu vzorků proběhlo po otryskávání bez následného odprášení kovového substrátu. Nastavení parametrů drsnoměru je uvedeno v tab. 18. Průměrné naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 19. Podrobné naměřené hodnoty u experimentálních vzorků včetně grafů profilů drsnosti jsou uvedeny v příloze č. 2.

Tab. 19 Průměrné naměřené parametry drsnosti vzorků po otryskávání

Označení vzorku	→ Ra [μm]	→ Rz [μm]	↓ Ra [μm]	↓ Rz [μm]
K01	9,21	59,37	8,74	58,96
K02	9,11	57,74	8,80	57,91
K03	8,36	56,85	8,60	54,79
K04	9,96	61,28	9,54	61,81
K05	9,23	59,28	9,53	60,72
K06	9,12	56,27	9,14	57,86
Vz.7	10,01	59,38	10,07	66,81
Vz.8	11,24	71,92	11,63	67,78
Vz.9	9,94	57,43	9,34	55,34
Vz.10	8,61	51,85	9,07	56,61
Vz.11	11,65	70,94	10,87	63,53
Vz.12	10,32	64,79	11,07	66,06
Vz.13	12,02	70,39	10,60	64,68
Vz.14	7,47	47,83	8,18	51,13
Vz.15	11,80	67,52	10,34	62,93
Vz.16	8,92	60,55	9,21	57,53
Vz.17	11,65	67,48	11,36	65,53
Vz.18	8,20	55,50	7,39	50,10
Vz.19	9,02	61,49	9,16	59,13
Vz.20	7,22	47,71	7,16	48,32
Vz.21	8,73	55,76	7,95	51,41
Vz.22	9,07	63,11	9,34	60,33
Vz.23	8,92	56,58	9,44	57,56
Vz.24	9,16	61,12	7,51	50,58

Vzorky s označením Vz.7 až Vz.9 s kovovými prachovými částicemi byly vyjmuty a ponechány pro aplikaci transparentního nátěrového systému. Vzorky s označením Vz.10 až Vz.12 byly rovněž vyjmuty z procesu čištění a na vzorky byly navíc aplikovány další kovové prachové částice získané čištěním vzorků uvedených v tab. 20. Na očištěných vzorcích uvedených v tab. 20 - kapitola 13.3.2 byly aplikovány prachové částice a opět změřena drsnost dle tab. 21 - kapitola 13.3.3. Všechny vzorky uvedené v tab. 19 byly použity pro experimentální práce.

13.3.2 Měření drsnosti substrátu po otryskávání a odprášení

Vzorky uvedené v tab. 20 byly po otryskání očištěny štětcem od částic ulpělých na jejich povrchu. Sejmuté prachové částice ze vzorků substrátu byly přeneseny do laboratorní misky pro další experimentální použití. Po očištění povrchu vzorků byla změřena drsnost dle kapitoly 13.3. Průměrné naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 20. Podrobné naměřené hodnoty drsnosti experimentálních vzorků jsou uvedeny v příloze č. 2.

Tab. 20 Průměrné naměřené parametry drsnosti očištěných experimentálních vzorků

Označení vzorku	→ Ra [μm]	→ Rz [μm]	↓ Ra [μm]	↓ Rz [μm]
K01	6,59	35,64	7,40	37,04
K02	7,27	36,47	8,36	45,53
K03	6,80	36,69	7,88	38,82
K04	5,87	33,60	7,40	38,60
K05	6,82	36,55	6,66	36,67
K06	6,61	35,34	7,59	37,84
Vz.13	11,03	62,57	10,84	65,23
Vz.14	8,45	52,03	8,68	56,92
Vz.15	10,57	62,39	9,67	60,65
Vz.16	9,37	57,89	9,72	61,10
Vz.17	11,29	65,79	11,72	69,97
Vz.18	9,13	58,33	8,64	54,93
Vz.19	8,72	57,50	8,70	56,87
Vz.20	7,20	45,17	8,27	56,67
Vz.21	9,34	58,23	9,10	58,11
Vz.22	9,30	59,17	9,39	59,59
Vz.23	8,85	51,70	9,62	60,47
Vz.24	8,22	54,76	8,93	67,70

Vzorky s označením Vz.10 až Vz.12 byly vyjmuty z procesu čištění. Nebyly zde odstraněny kovové nečistoty po procesu otryskávání. Na tyto vzorky byly aplikovány prachové částice viz. tab. 21 - kapitola 13.3.3. Po očištění byl vzorek K01 vyjmut a určen pro aplikaci transparentního nátěrového systému.

13.3.3 Měření drsnosti substrátu po aplikaci prachových částic

Vzorky uvedené v tab. 21 byly zaprášeny prachovými částicemi dle tab. 7. Po nanesení prachových částic byla změřena drsnost vzorků dle viz. kapitola 13.3. Průměrné naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 21. Podrobné naměřené hodnoty experimentálních vzorků jsou uvedeny v příloze č. 2.

Tab. 21 Průměrné naměřené parametry drsnosti vzorků

Označení vzorku	Aplikované prachové částice na kovový substrát	→ Ra [μm]	→ Rz [μm]	↓ Ra [μm]	↓ Rz [μm]
K02	HFIL1 - Křída hydrofilní	4,62	23,39	4,23	22,27
K03	HFX1 - Křída hydrofobní	1,73	10,07	6,00	33,63
K04	HFB1 - Cihla hydrofobní	9,61	52,48	7,04	39,34
K05	HC1 - Cihla hydrofilní	6,34	36,48	7,16	41,13
K06	HTRYSK - Prachové částice po otryskání	6,98	35,72	7,61	38,72
Vz.10	HTRYSK - Prachové částice po otryskání	10,12	64,99	11,46	63,99
Vz.11	HTRYSK - Prachové částice po otryskání	10,85	66,89	11,60	69,25
Vz.12	HTRYSK - Prachové částice po otryskání	10,81	55,34	12,41	67,32
Vz.13	HC1 - Cihla hydrofilní	10,89	72,14	10,22	61,91
Vz.14	HC1 - Cihla hydrofilní	9,31	70,90	8,83	60,07
Vz.15	HC1 - Cihla hydrofilní	11,76	75,30	11,09	70,74
Vz.16	HFB1 - Cihla hydrofobní	10,71	71,94	9,37	61,40
Vz.17	HFB1 - Cihla hydrofobní	11,99	75,84	12,04	72,98
Vz.18	HFB1 - Cihla hydrofobní	9,06	58,79	9,15	63,85
Vz.19	HFX1 - Křída hydrofobní	8,19	51,20	8,14	53,40
Vz.20	HFX1 - Křída hydrofobní	7,20	51,76	7,31	48,93
Vz.21	HFX1 - Křída hydrofobní	8,12	54,12	8,87	60,56
Vz.22	HC1 - Cihla hydrofilní	9,57	63,52	9,18	58,69
Vz.23	HC1 - Cihla hydrofilní	8,82	55,25	7,79	56,56
Vz.24	HC1 - Cihla hydrofilní	7,90	56,21	8,60	62,22

Do souboru měření viz. tab. 21. byly vráceny vzorky s označením Vz.10 až Vz.12. Na experimentální vzorky byly aplikovány prachové částice získané čištěním vzorků uvedených v tab.18 - kapitola 13.3.2.

13.3.4 Stanovení tloušťky mokré a suché vrstvy nátěrového systému dle ČSN EN ISO 2808

Nátěrový systém byl aplikován na substrát dle kapitoly 11.9 a tloušťka mokré vrstvy byla změřena hřebenovou měrkou. Metoda měření tloušťky mokré vrstvy nátěru je uvedena v kapitole 12.4. Tloušťka mokré vrstvy dosahovala 175 μm . Po vytvrzení nátěru bylo provedeno měření tloušťky suché vrstvy. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 22.

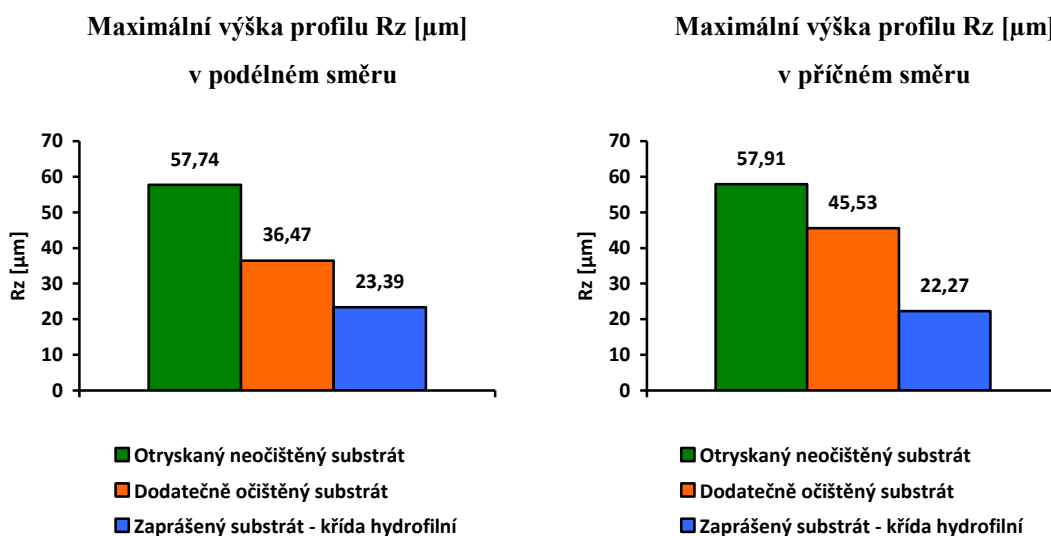
Tab. 22 Tloušťka suché vrstvy nátěrového systému

Označení vzorku	Měření č.1 [μm]	Měření č.2 [μm]	Měření č.3 [μm]	Měření Ø [μm]
K01	29,8	24,1	26,3	26,7
K02	24,9	26,8	33,1	28,3
K03	27,0	26,5	25,7	26,4
K04	27,6	24,7	28,1	26,8
K05	38,1	38,4	35,2	37,2
K06	24,3	31,2	26,2	27,2
Vz.7	26,1	27,5	28,6	27,4
Vz.8	25,8	26,4	29,7	27,3
Vz.9	25,6	28,7	26,1	26,8
Vz.10	26,6	26,8	25,1	26,2
Vz.11	28,1	25,4	26,7	26,7
Vz.12	27,9	26,9	26,8	27,2
Vz.13	29,0	19,5	38,1	28,9
Vz.14	30,3	27,1	27,9	28,4
Vz.15	25,8	24,6	27,7	26,0
Vz.16	26,9	27,2	29,2	27,8
Vz.17	26,1	25,5	26,8	26,1
Vz.18	29,7	26,2	25,4	27,1
Vz.19	29,1	26,7	27,8	27,9
Vz.20	26,1	25,6	26,7	26,1
Vz.21	27,5	24,8	26,6	26,3
Vz.22	29,1	27,0	26,6	27,6
Vz.23	26,4	27,2	26,5	26,7
Vz.24	28,7	26,6	24,3	26,5

13.3.5 Hodnocení parametru drsnosti Rz experimentálních vzorků před aplikací nátěrového systému

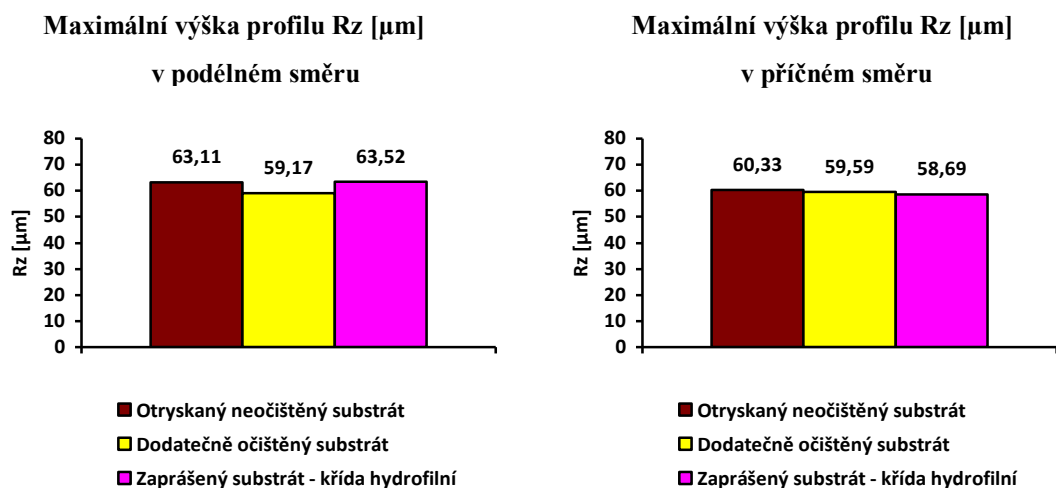
Pro hodnocení parametru drsnosti Rz byly vybrány reprezentativní vzorky charakteristické typem uměle vyrobených prachových částic nanesených na substrát. Hodnocení bylo provedeno jak u vzorků určených pro kondenzační komoru, tak i u vzorků určených pro komoru solnou. U experimentálních vzorků se porovnával parametr drsnosti Rz, to je průměrná maximální výška profilu pro substráty otryskané bez následného dodatečného odstranění zbytků po otryskání, pro substráty po otryskání dodatečně čištěné a pro substráty se záměrně nanesenými prachovými hydrofilními, hydrofobními, křídovými, cihlovými a částicemi získané dodatečným čištěním substrátů. Hodnocení Rz bylo prováděno jak v podélném směru, tak i v příčném směru experimentálních vzorků. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze č.2. a uvedeny v grafu č.1 až grafu č.10.

Vzorek K02 s křídovými hydrofilními částicemi.



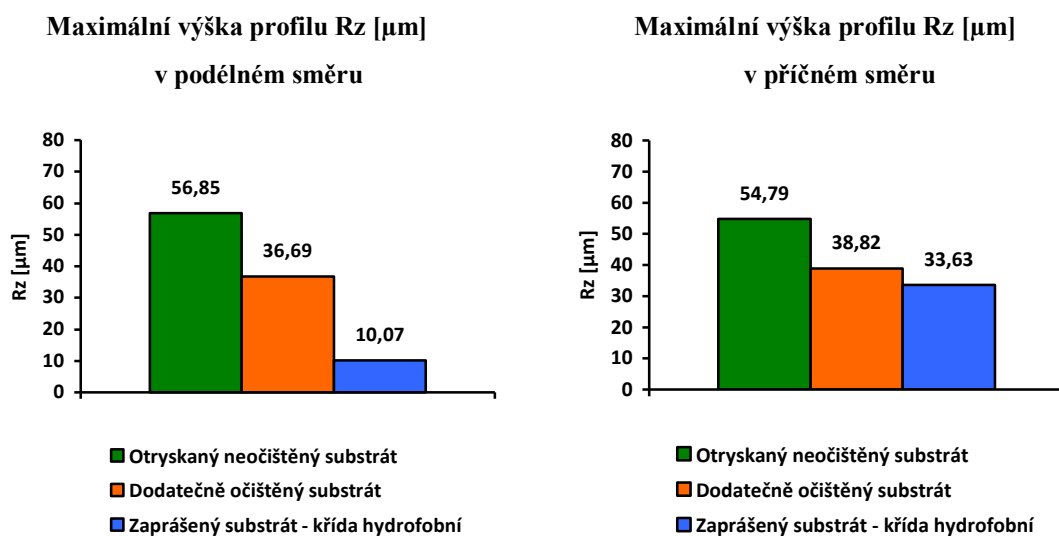
Graf č. 1 Hodnocení Rz vzorku K02 s křídovými hydrofilními částicemi

Vzorek Vz.22 s křídovými hydrofilními částicemi.



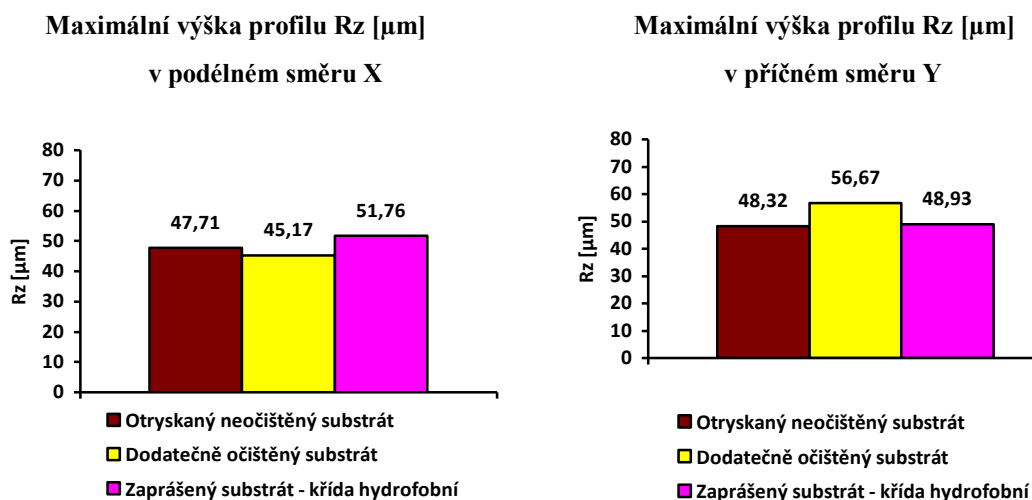
Graf č. 2 Hodnocení Rz vzorku Vz.22 s křídovými hydrofilními částicemi

Vzorek K03 s křídovými hydrofobními částicemi.



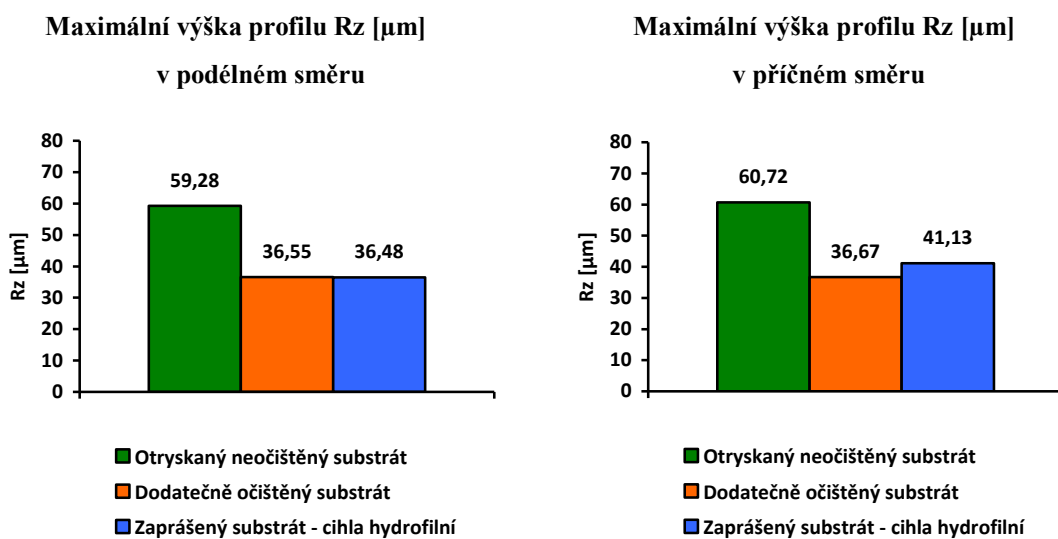
Graf č. 3 Hodnocení Rz vzorku K03 s křídovými hydrofobními částicemi

Vzorek Vz.20 s křídovými hydrofobními částicemi.



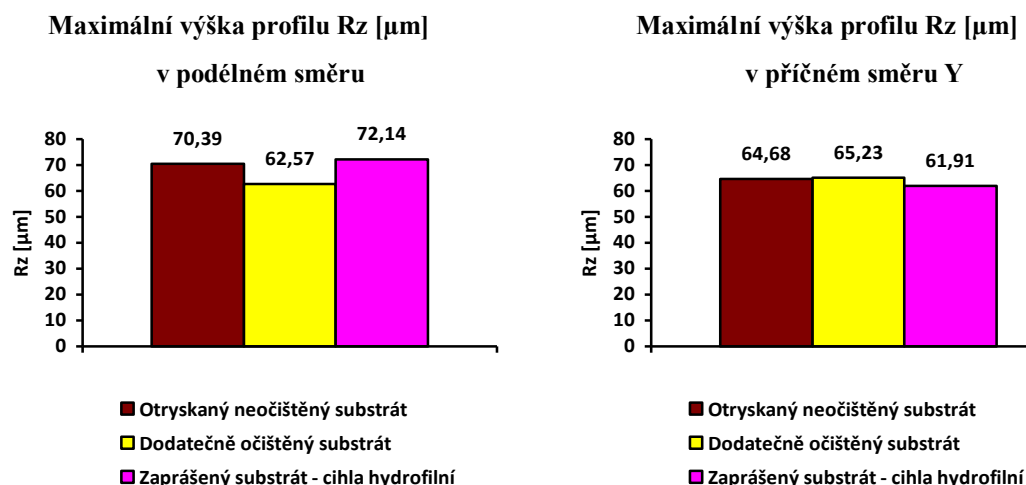
Graf č. 4 Hodnocení Rz vzorku Vz.20 s křídovými hydrofobními částicemi

Vzorek K05 s cihlovými hydrofilními částicemi.



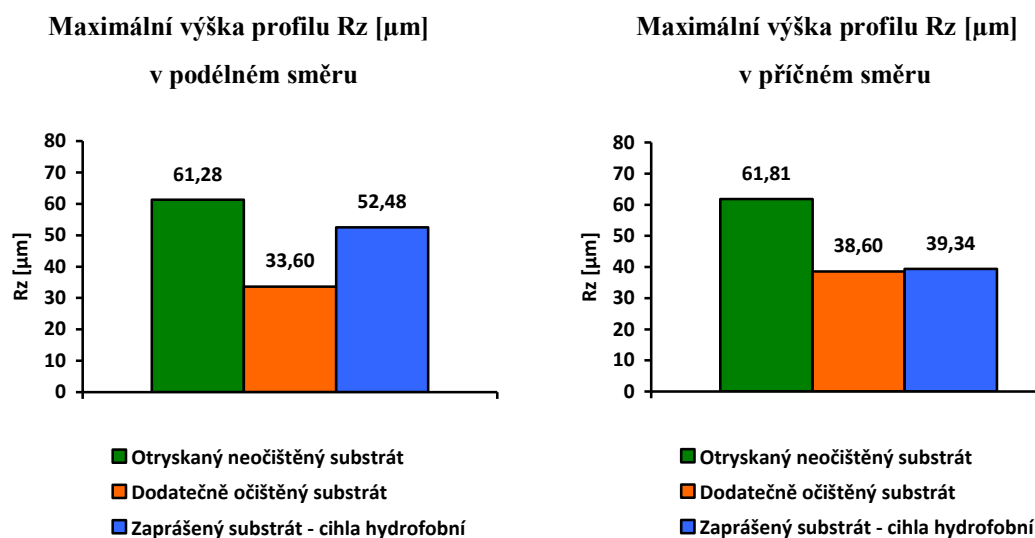
Graf č. 7 Hodnocení Rz vzorku K05 s cihlovými hydrofilními částicemi

Vzorek Vz.13 s cihlovými hydrofilními částicemi.



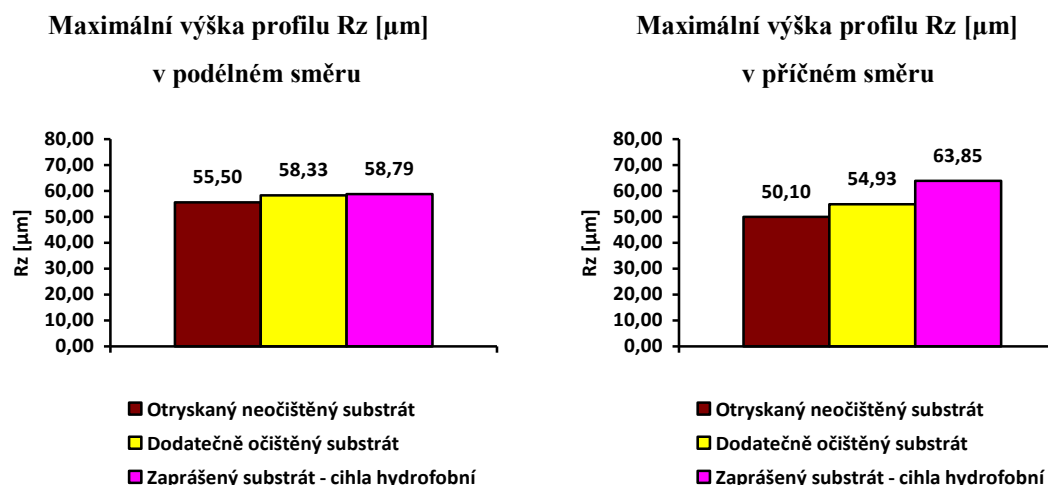
Graf č. 8 Hodnocení Rz vzorku Vz.13 s cihlovými hydrofilními částicemi

Vzorek K04 s cihlovými hydrofobními částicemi.



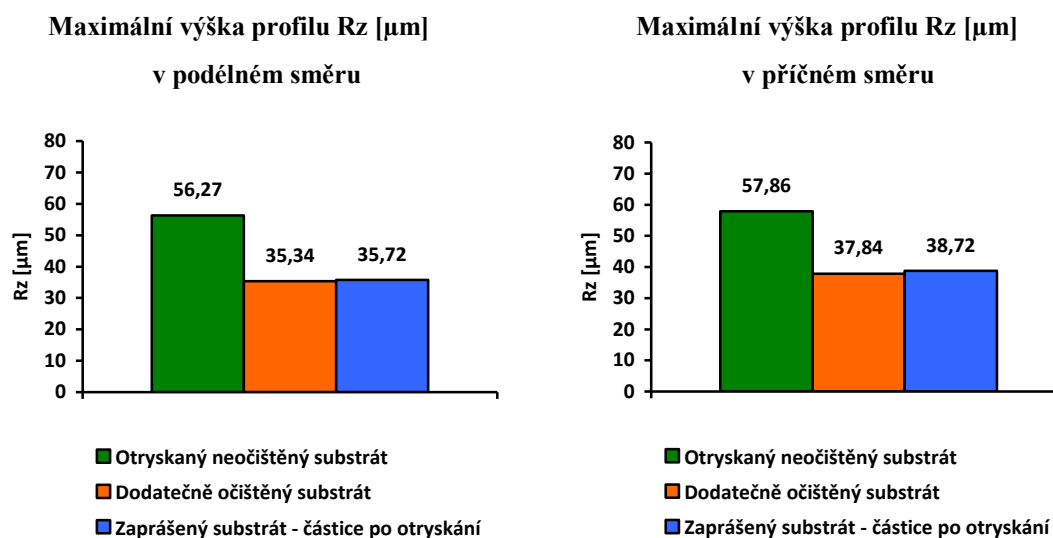
Graf č. 5 Hodnocení Rz vzorku K04 s cihlovými hydrofobními částicemi

Vzorek Vz.18 s cihlovými hydrofobními částicemi.



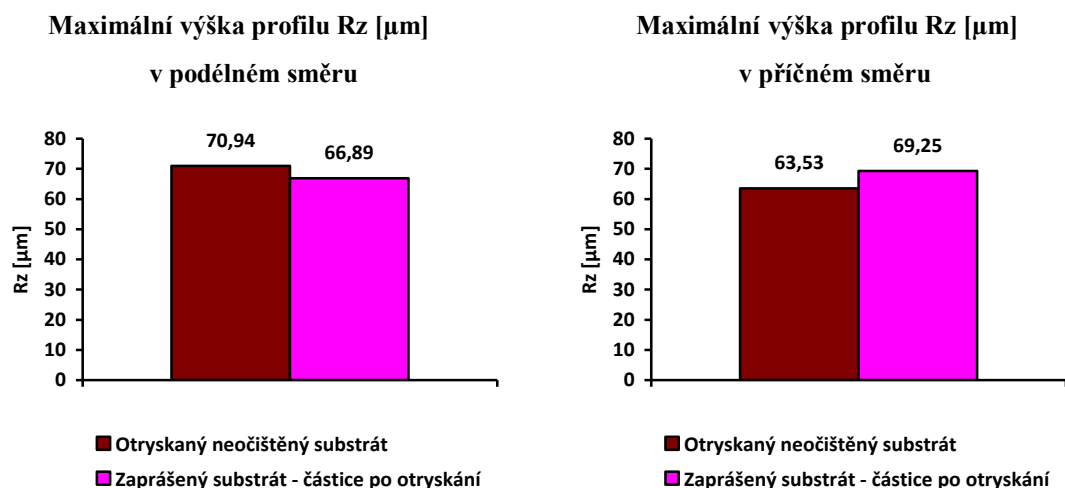
Graf č. 6 Hodnocení Rz vzorku Vz.18 s cihlovými hydrofobními částicemi

Vzorek K06 s prachovými částicemi získané po otryskání.



Graf č. 9 Hodnocení Rz vzorku K06 s prachovými částicemi po otryskání

Vzorek Vz.11 s prachovými částicemi získané po otryskání.



Graf č. 10 Hodnocení vzorku Vz.11 s prachovými částicemi po otryskání

Povrch experimentálních vzorků spolu s křídovým popisem nebyl rovnoměrně zaprášen jednotlivými druhy částic. Vlivem přítomnosti prachových částic na povrchu experimentálních vzorků došlo ke změně hodnoty parametru drsnosti Rz což se odrazilo v rozdílných hodnotách uvedené Rz. Na základě výsledků měření parametru Rz lze usuzovat, že hydrofilní částice kopírovaly reliéf povrchu substrátu, zatím co u hydrofobních částic vzhledem jejich oblému až kulovitému tvaru o různé velikosti nedocházelo ke kopírování povrchu substrátu, ale došlo pouze k zaplnění nerovností reliéfu. Je možné předpokládat, že zůstal volný prostor mezi hydrofobními prachovými částicemi a substrátem. Na základě těchto závěrů lze předpokládat, že hydrofilní částice vzhledem k jejich vlastnostem umožňovaly snadnější kontakt s vodným prostředím nátěrového systému se substrátem oproti hydrofobním částicím, které svým tvarem způsobovaly odpor průchodu pro vodné prostředí. Vzhledem k vlastnostem částic v kontaktu s vodným prostředím lze předpokládat, že se hydrofilní částice navzájem odpuzovaly a tím umožnily intenzivnější kontakt s vodným prostředím oproti hydrofobním částicím, kteří se v kontaktu s vodným prostředím přitahují. Tato skutečnost se potvrdila na dokumentačních snímcích viz. obr. 30 a obr. 36.



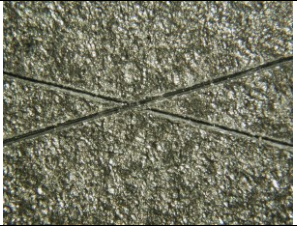


13.4 Přílnavost nátěru hodnocení křížovým řezem dle

ČSN EN ISO 16276-2

Reprezentativní vzorky pro zkoušku křížového řezu viz. tab. 23 byly provedeny

před zkouškou solnou mlhou a kondenzační komoře. Klasifikace zkoušky křížového řezu je uvedena v tab. 23. Substráty určené pro zkoušku solnou mlhou a kondenzační komoru byly ze stejné série, proto nebyla prováděna zkouška křížového řezu vzorků K01 až K06 před zkouškou v kondenzační komoře. Část vzorků po zkoušce křížového řezu byla vložena do solné komory a část experimentálních vzorků byla vložena do kondenzační komory.







Tab. 23 Klasifikace přilnavosti nátěru dle zkoušky křížovým řezem dle ČSN EN ISO 16276-2 před korozní zkouškou

Vzorek číslo	Klas.	Fotodokumentace	Vzorek číslo	Klas.	Fotodokumentace
Vz.22 Otrysk. Křída H.Fil	0		Vz.13 Otrysk Cihla H.Fil	0	
Vz.20 Otrysk. Křída H.Fob.	0		Vz.18 Otrysk. Cihla H.Fob	0	
Vz.12 Otrysk. Kov	0				

Na základě výsledků uvedených v tab. 23 vykazovaly vzorky ve všech případech stupeň přilnavosti po křížové zkoušce stupeň hodnoty 0.

V tab. 24. Jsou uvedeny výsledky zkoušky křížového řezu u vzorků K01 až K06, které byly vyjmuty po ukončení zkoušky v kondenzační komoře. Zkouška křížového řezu nebyla prováděna u reprezentativních vzorků Vz.12, Vz.13, Vz.18, Vz.20 a Vz.22. z důvodu velkého prorozivění po ukončení zkoušky solnou mlhou. Fotodokumentace vzorků po ukončení zkoušky v solné komoře jsou uvedeny v kapitole 13.6.1.

Tab. 24 Klasifikace přilnavosti nátěru dle zkoušky křížovým řezem dle
ČSN EN ISO 16276-2 po korozní zkoušce

Vzorek číslo	Klas.	Fotodokumentace	Vzorek číslo	Klas.	Fotodokumentace
K02 Otrysk. Křída H.Fil.	3		K05 Otrysk Cihla H.Fil.	2	
K03 Otrysk. Křída H.Fob.	2		K04 Otrysk. Cihla H.Fob.	1	
K06 Otrysk. Kov	3		K01 Očištěn otrysk.	2	

Hydrofilní částice cihly vykázaly stupeň klasifikace 2 a částice hydrofilní křídly 3. Zaplněním mrtvého objemu povrchu substrátu hydrofilními částicemi, které je patrné z grafu č.1 se zhoršila přilnavost nátěrového systému k povrchu substrátu. Hydrofobní částice cihly vykázaly stupeň 2 a hydrofilní částice křídly vykázala stupeň 1. Hydrofobní částice odpudily tekutou vodnou část nátěru a umožnily přístup k substrátu a tvorbě chemické sloučeniny, která je v nanorozměrech u daného nátěrového systému, dochází k vytlačování hydrofobních částic od povrchu fázového rozhraní směrem vzhůru.

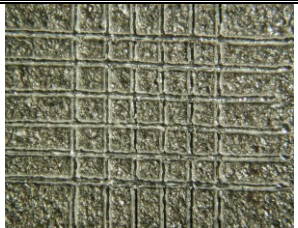
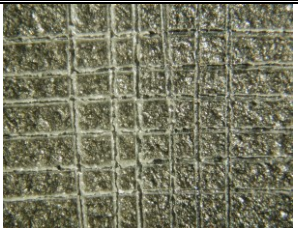

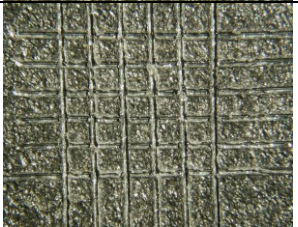

13.5 Přilnavost nátěru hodnocení mřížkovou zkouškou dle

ČSN EN ISO 2409

Reprezentativní vzorky pro mřížkovou zkoušku viz. tab. 25 byla provedena před zkouškou solnou mlhou a zkoušku v kondenzační komoře. Substráty určené pro zkoušku solnou a kondenzační komoru byly ze stejné série, proto nebyla prováděna mřížková zkouška vzorků K01 až K06 před zkouškou v kondenzační komoře. Část vzorků po mřížkové zkoušce byla vložena do solné komory a část experimentálních

vzorků byla vložena do kondenzační komory. Klasifikace mřížkové zkoušky je uvedena v tab. 25.


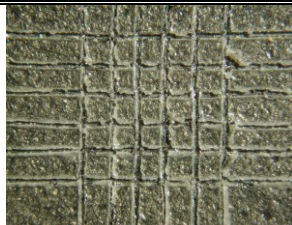
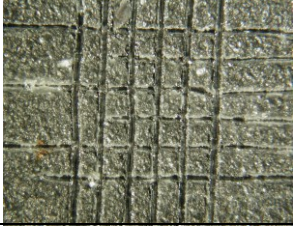
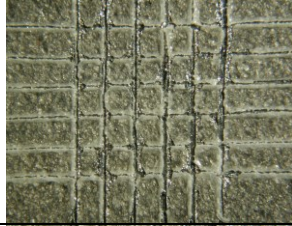


Tab. 25 Klasifikace přilnavosti nátěru dle mřížkové zkoušky dle ČSN EN ISO 2409 před korozní zkouškou

Vzorek číslo	Klas.	Fotodokumentace	Vzorek číslo	Klas.	Fotodokumentace
Vz.22 Otrysk. Křída H.Fil.	1		Vz.13 Otrysk Cihla H.Fil.	2	
Vz.20 Otrysk. Křída H.Fob	2		Vz.18 Otrysk. Cihla H.Fob.	2	
Vz.12 Otrysk. Kov	3				

Hydrofobní částice cihly i křídý vykazaly stupeň 2, což potvrzuje, že hydrofobní částice odpudily tekutou vodnou část nátěru a umožnily přístup k substrátu a tvorbě chemické sloučeniny, která je v nanorozměrech u daného nátěrového systému a dochází k vytlačování částic od povrchu fázového rozhraní směrem vzhůru. Částice hydrofilní křídý vykazaly stupeň klasifikace 1. Částice hydrofilní křídý reagovaly s nátěrovým systémem, neboť vápník je část plnivové složky. Cihlové hydrofilní částice vykazovaly stupeň klasifikace 2.

V tab. 26. Jsou uvedeny výsledky mřížkové zkoušky u vzorků K01 až K06, které byly vyjmuty po ukončení zkoušky v kondenzační komoře. Mřížková zkouška nebyla prováděna u reprezentativních vzorků Vz.12, Vz.13, Vz.18, Vz.20 a Vz.22. z důvodu velkého prorezavění po ukončení zkoušky v solné komoře. Fotodokumentace vzorků po ukončení zkoušky v solné komoře jsou uvedeny v kapitole 13.6.1.

Tab. 26 Klasifikace přilnavosti nátěru dle mřížkové zkoušky dle ČSN EN ISO 2409
po korozní zkoušce

Vzorek číslo	Klas.	Fotodokumentace	Vzorek číslo	Klas.	Fotodokumentace
K02 Otrysk. Křída H.Fil	3		K05 Otrysk Cihla H.Fil.	3	
K03 Otrysk. Křída H.Fob.	2		K04 Otrysk. Cihla H.Fob.	2	
K06 Otrysk. Kov	4		K01 Očištěn otrysk.	2	

Hydrofilní částice cihly i křídý vykazaly stupeň klasifikace 3 Hydrofilní částice zhoršily přilnavost nátěrového systému k povrchu substrátu. Hydrofobní křída i cihla vykazala stupeň 2. Hydrofobní částice odpudily tekutou vodnou část nátěru a umožnily přístup k substrátu a tvorbě chemické sloučeniny, která je v nanorozměrech u daného nátěrového systému a dochází k vytlačování hydrofobních částic od povrchu fázového rozhraní směrem vzhůru a tím se zhoršuje kompaktnost nátěrového systému z hlediska prostupu korozního prostředí.

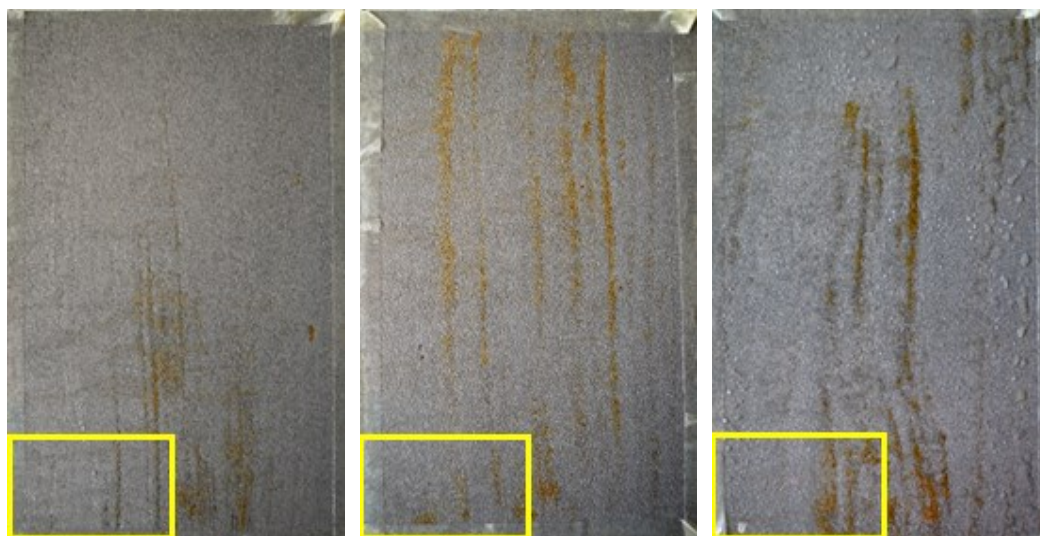
Mřížkové zkoušky potvrdily závěry zkoušky křížových řezů po provedení korozní zkoušky uvedených v kapitole 13.4.

13.6 Korozní zkouška solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227

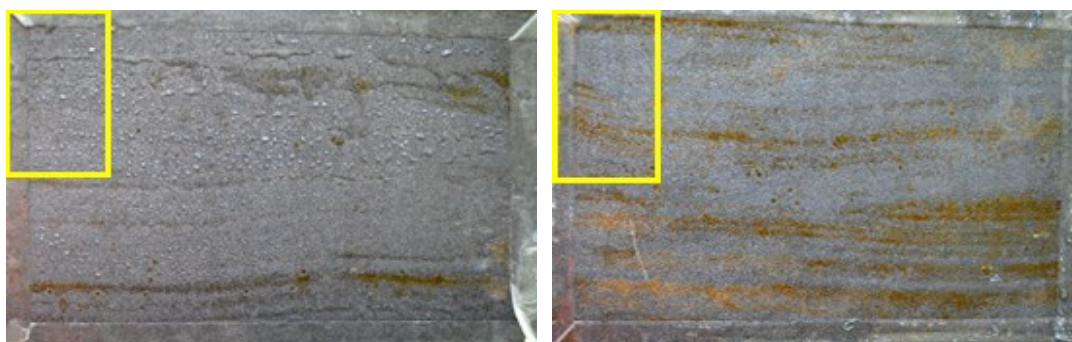
Korozní zkouška probíhala dle metodiky uvedené v kapitole 12.7. Ve zkušební komoře, bylo zajištěno rozprašování solné mlhy při stálé teplotě. Vzorky byly kontrolovány v intervalech 3; 6 a 12 hodin. Po uplynutí stanovených intervalů byly vzorky vyjmuty a opláchnuty. Následně byla provedena fotodokumentace experimentálních vzorků a provedeno hodnocení. Zkouška křížovým řezem a mřížková

zkouška nebyla prováděna z důvodu prokorodování nátěrového systému. Kompletní fotodokumentace je uvedena v příloze č.3.

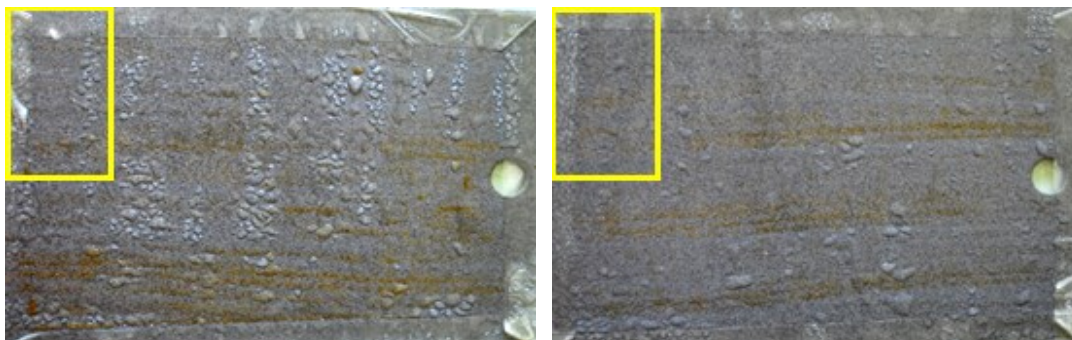
13.6.1 Hodnocení korozní zkoušky v solné komoře



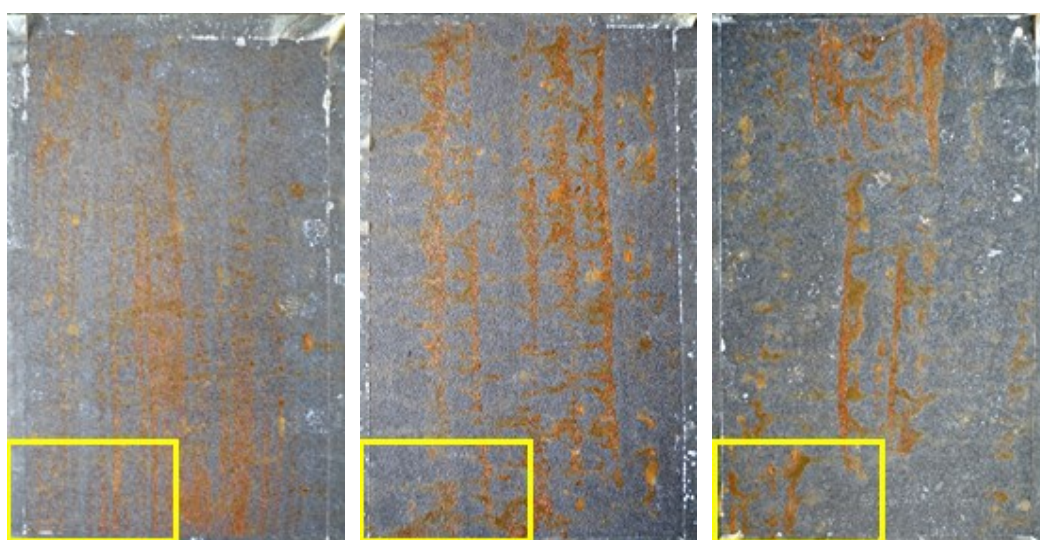
Obr. 63 Fotodokumentace vzorků - zleva Vz.5 (očistěný), Vz.8 (neočistěný) a Vz.10 (s částicemi po otryskání) po 3 hodinách expozice v solné komoře. Místo umístění experimentálního popisu křídou je vyznačeno žlutě.



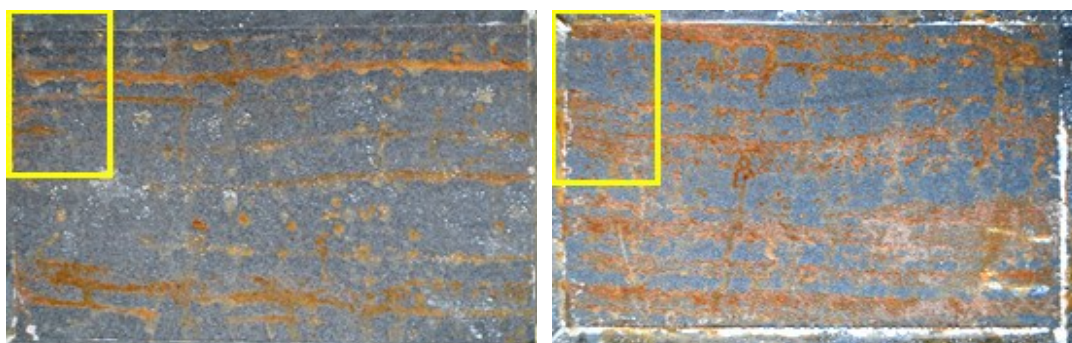
Obr. 64 Fotodokumentace vzorků - zleva Vz.14 (cihla hydrofilní) a Vz.17 (cihla hydrofobní) po 3 hodinách expozice v solné komoře. Místo umístění experimentálního popisu křídou je vyznačeno žlutě.



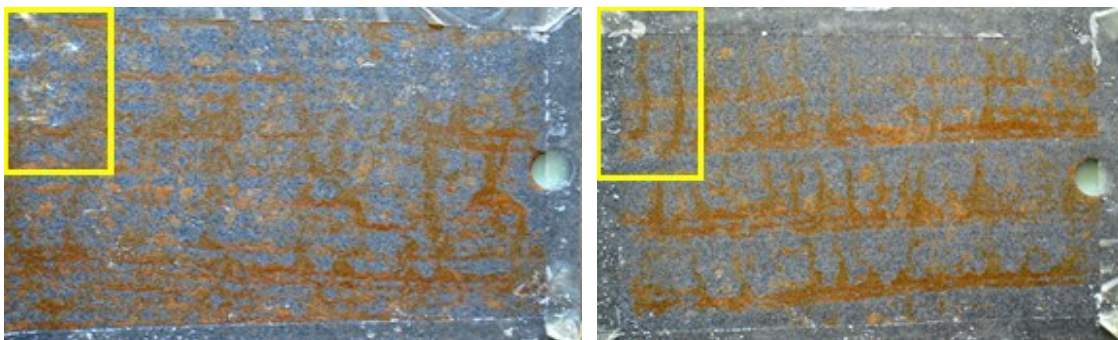
Obr. 65 Fotodokumentace vzorků - zleva Vz.19 (křída hydrofobní) a Vz.24 (Křída hydrofilní) po 3 hodinách expozice v solné komoře. Místo umístění experimentálního popisu křídou je vyznačeno žlutě.



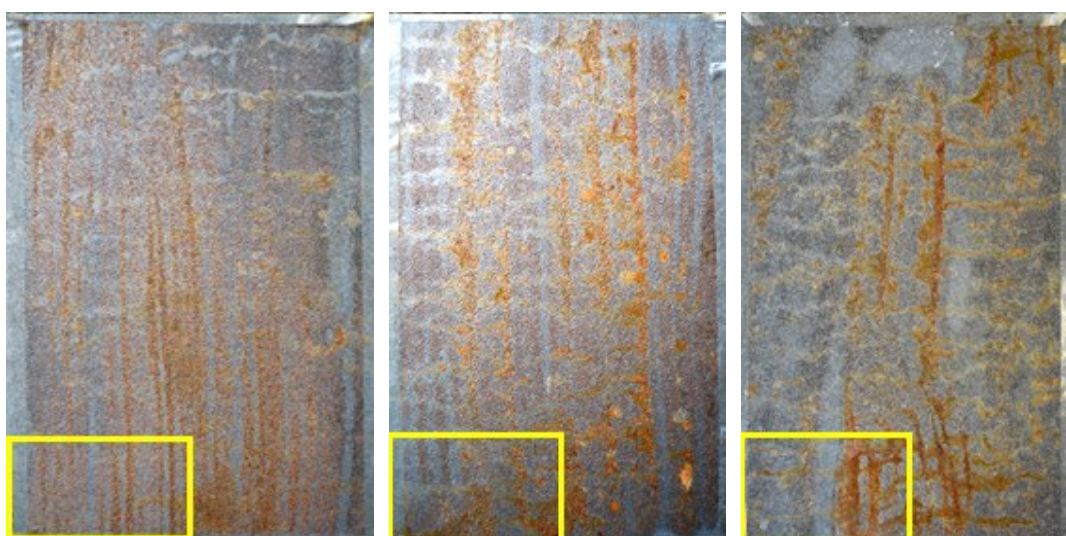
Obr. 66 Fotodokumentace vzorků - zleva Vz.5 (očistěný), Vz.8 (neočistěný) a Vz.10 (s částicemi po otryskání) po 6 hodinách expozice v solné komoře. Místo umístění experimentálního popisu křídou je vyznačeno žlutě.



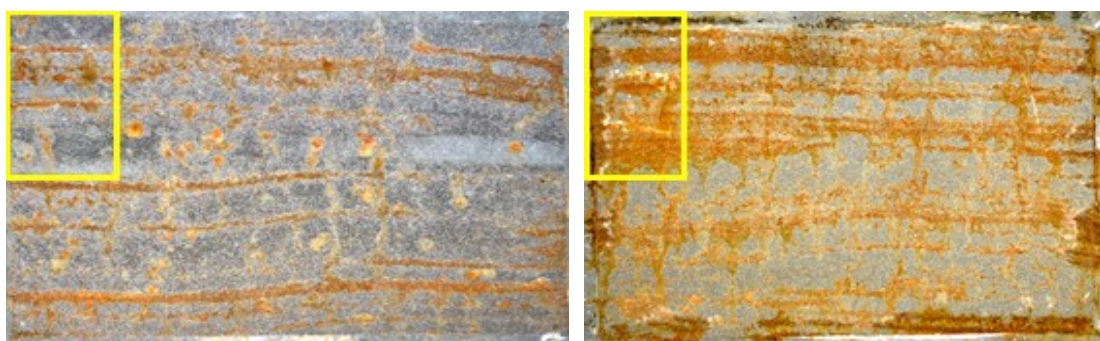
Obr. 67 Fotodokumentace vzorků - zleva Vz.14 (cihla hydrofilní) a Vz.17 (cihla hydrofobní) po 6 hodinách expozice v solné komoře. Místo umístění experimentálního popisu křídou je vyznačeno žlutě.



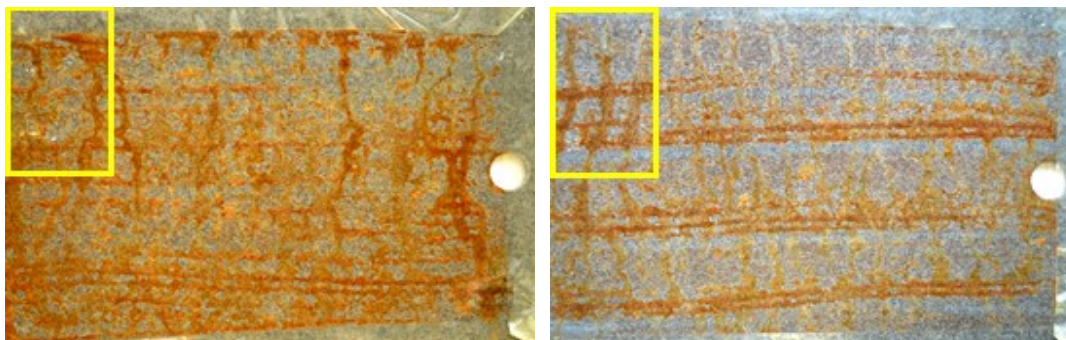
Obr. 68 Fotodokumentace vzorků - zleva Vz.19 (křída hydrofobní) a Vz.24 (Křída hydrofilní) po 6 hodinách expozice v solné komoře. Místo umístění experimentálního popisu křídou je vyznačeno žlutě.



Obr. 69 Fotodokumentace vzorků - zleva Vz.5 (očistěný), Vz.8 (neočistěný) a Vz.10 (s částicemi po otryskání) po 12 hodinách expozice v solné komoře. Místo umístění experimentálního popisu křídou je vyznačeno žlutě.



Obr. 70 Fotodokumentace vzorků - zleva Vz.14 (cihla hydrofilní) a Vz.17 (cihla hydrofobní) po 12 hodinách expozice v solné komoře. Místo umístění experimentálního popisu křídou je vyznačeno žlutě.



Obr. 71 Fotodokumentace vzorků - zleva Vz.19 (křída hydrofobní) a Vz.24 (Křída hydrofilní) po 12 hodinách expozice v solné komoře. Místo umístění experimentálního popisu křídou je vyznačeno žlutě.

Podrobná legenda ke koroznímu napadení vzorků a fotodokumentace je uvedena v tab. 27 a v příloze č.3.

Tab. 27 Vyhodnocení korozního napadení nátěrového systému dle ČSN EN ISO 4628 po 3 hodinách expozice v korozní komoře

Vzorek č.	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorézavění	Intenzita změn
Vz.4	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0
Vz.5	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0
Vz.8	1 (S0)	Ri 0 (S0)	0
Vz.9	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0
Vz.10	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0
Vz.11	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0
Vz.14	1 (S0)	Ri 0 (S0)	0
Vz.15	1 (S0)	Ri 0 (S0)	0
Vz.16	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0
Vz.17	1 (S0)	Ri 0 (S0)	0
Vz.19	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0
Vz.21	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0
Vz.23	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0
Vz.24	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0

Tab. 28 Vyhodnocení korozního napadení nátěrového systému dle ČSN EN ISO 4628
po 6 hodinách expozice v korozní komoře

Vzorek č.	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorézavění	Intenzita změn
Vz.4	1 (S1)	Ri 2 (S2)	1
Vz.5	1 (S1)	Ri 3 (S3)	1
Vz.8	1 (S0)	Ri 2 (S2)	0
Vz.9	1 (S0)	Ri 2 (S2)	1
Vz.10	0 (S0)	Ri 1 (S2)	0
Vz.11	0 (S0)	Ri 1 (S2)	0
Vz.14	2 (S0)	Ri 2 (S2)	1
Vz.15	2 (S0)	Ri 2 (S2)	1
Vz.16	2 (S0)	Ri 2 (S3)	1
Vz.17	2 (S0)	Ri 2 (S3)	1
Vz.19	2 (S0)	Ri 3 (S3)	2
Vz.21	2 (S0)	Ri 3 (S3)	2
Vz.23	2 (S1)	Ri 2 (S2)	2
Vz.24	2 (S1)	Ri 2 (S2)	2

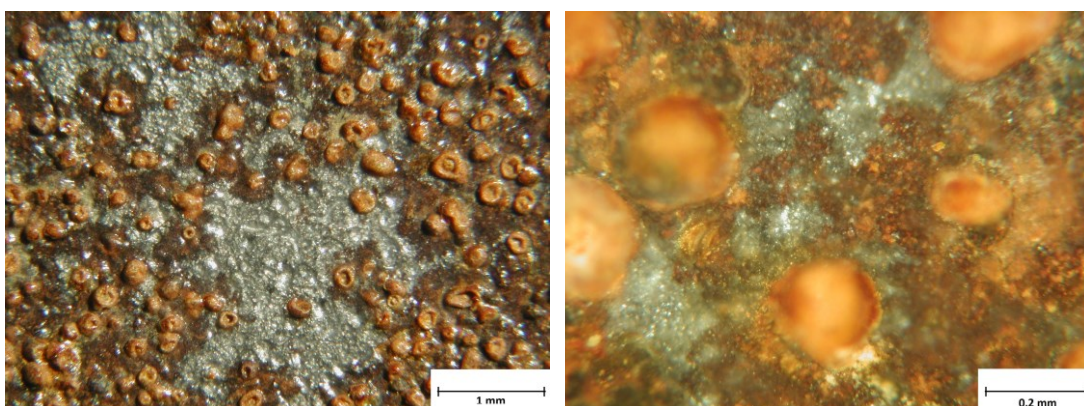
Tab. 29 Vyhodnocení korozního napadení nátěrového systému dle ČSN EN ISO 4628
po 12 hodinách expozice v korozní komoře

Vzorek č.	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorézavění	Intenzita změn
Vz.4	1 (S1)	Ri 2 (S2)	0
Vz.5	1 (S1)	Ri 3 (S3)	0
Vz.8	1 (S1)	Ri 2 (S3)	0
Vz.9	1 (S1)	Ri 2 (S3)	1
Vz.10	1 (S1)	Ri 2 (S2)	1
Vz.11	1 (S1)	Ri 2 (S2)	1
Vz.14	2 (S1)	Ri 2 (S3)	1
Vz.15	2 (S1)	Ri 2 (S3)	1
Vz.16	2 (S1)	Ri 4 (S3)	1
Vz.17	2 (S1)	Ri 4 (S3)	1
Vz.19	2 (S0)	Ri 3 (S4)	0
Vz.21	2 (S0)	Ri 3 (S4)	0
Vz.23	2 (S1)	Ri 2 (S3)	0
Vz.24	2 (S1)	Ri 2 (S3)	0

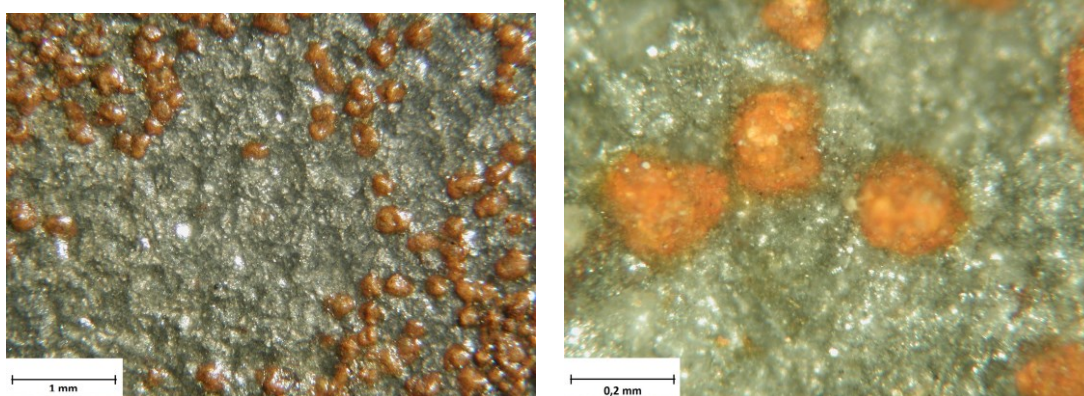
Výsledky korozní zkoušky v solné mlze po 3, 6 a 12 hodinách jsou uvedeny v tab. 27-29. Obrazová dokumentace dílčích zkoušek je uvedena na obr. 63-65. Oblast popisu technickou křídou, je u všech vzorků na obrázku ohraničena žlutě. Ve vymezeném prostoru povrchu experimentálních vzorků bylo v prvním kroku vyznačeno jejich číslo popisovou technickou křídou. Ve druhém kroku byly aplikovány po celé ploše experimentálních vzorků včetně povrchu popisové křídly upravené prachové částice. Ve třetím kroku byl aplikován nátěrový systém po celé ploše experimentálních vzorků včetně ploch s popisem. Po 12 hodinách v solné komoře byly vzorky vyjmuty a sušeny. Popis hydrofilní technickou křídou je nejvíce zřetelný u vzorků Vz.17 a Vz. 21, kde byly aplikovány hydrofobní částice. Vzhledem k tomu, že u těchto vzorků byl aplikován nejprve hydrofilní popis a následně aplikovány hydrofobní částice, nedošlo k úplnému podkorodování oblasti popisu jako u vzorků, kde byly aplikovány pouze hydrofilní částice.

13.6.2 Metalografické hodnocení vzorků po korozní zkoušce v solné komoře

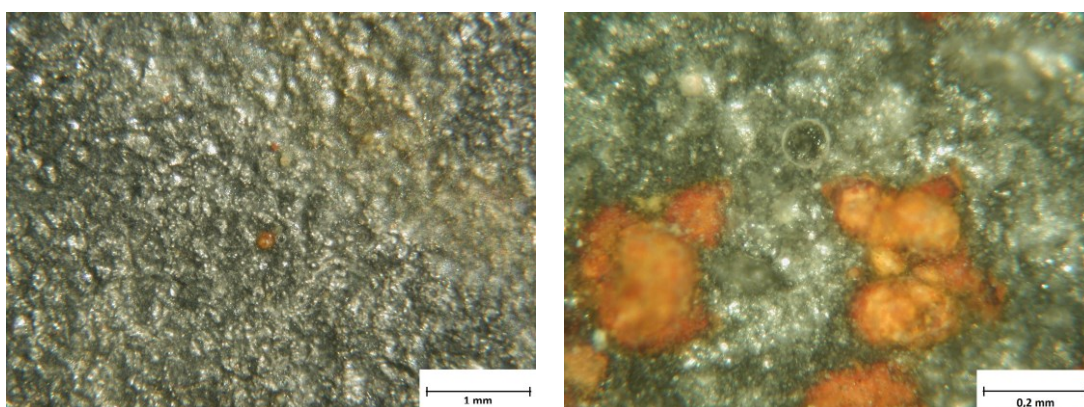
Po dvanácti hodinách expozice v korozní komoře byly vzorky vyjmuty, opláchnuty a osušeny. Povrch experimentálních vzorků na obr. 72 - 78 byl zkoumán mikroskopem Neophot 2 v laboratoři VŠB-TU Ostrava. Vlevo zvětšeno 20×, vpravo 100×. Mechanickou výměnou objektivu mikroskopu pro realizaci zvětšení docházelo k výchylce pozorovaného povrchu. Podrobná fotodokumentace experimentálních vzorků je uvedena v příloze č.3.



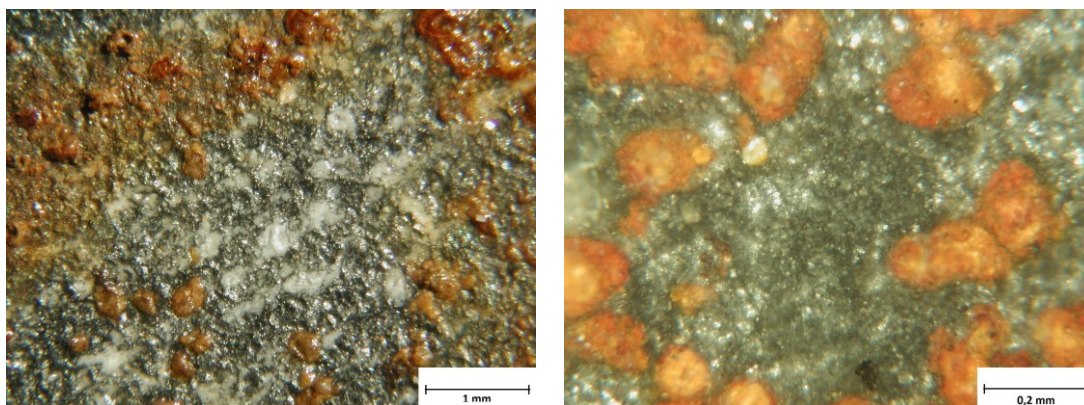
Obr. 72. Fotodokumentace povrchu vzorku Vz.4. Vlevo zvětšeno 20×, vpravo 100×



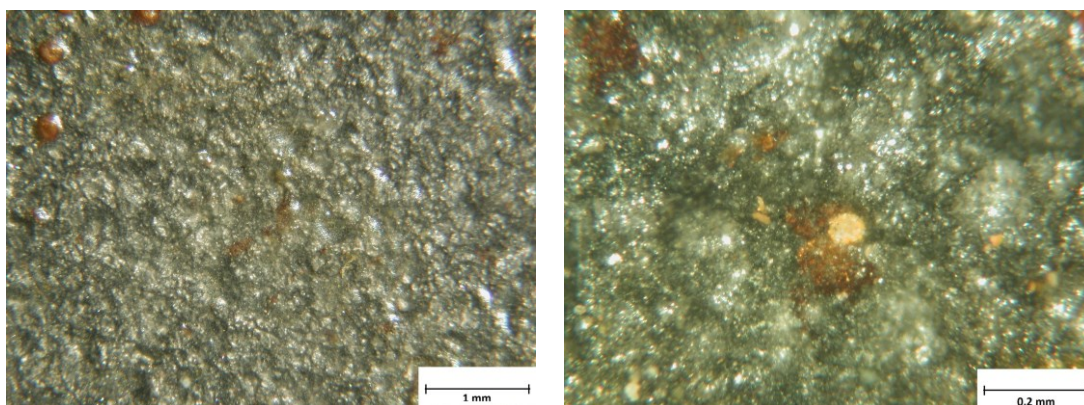
Obr. 73. Fotodokumentace povrchu vzorku Vz.8. Vlevo zvětšeno 20×, vpravo 100×



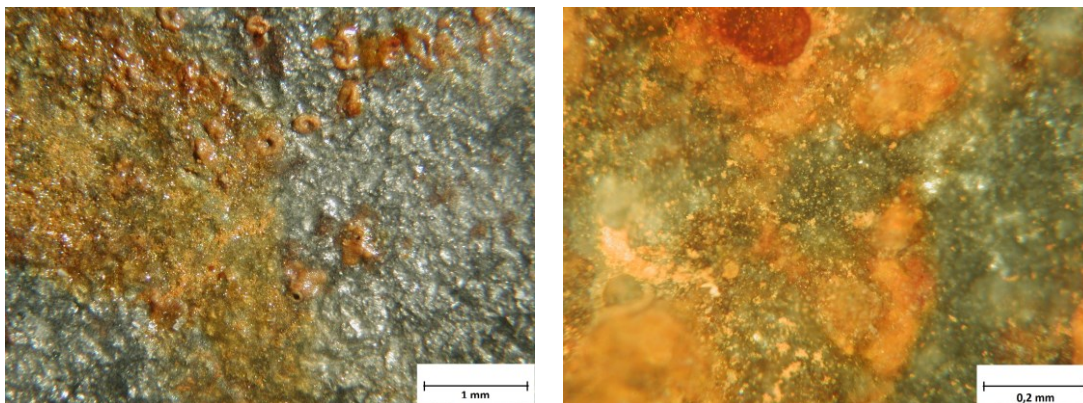
Obr. 74. Fotodokumentace povrchu vzorku Vz.10. Vlevo zvětšeno 20×, vpravo 100×



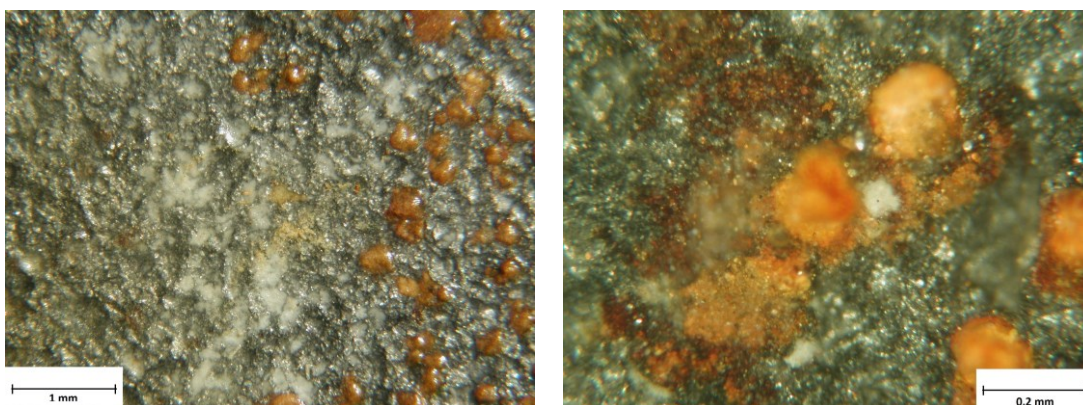
Obr. 75. Fotodokumentace povrchu vzorku Vz.14. Vlevo zvětšeno 20×, vpravo 100×



Obr. 76. Fotodokumentace povrchu vzorku Vz.16 Vlevo zvětšeno 20×, vpravo 100×



Obr. 77. Fotodokumentace povrchu vzorku Vz.19. Vlevo zvětšeno 20×, vpravo 100×



Obr. 78. Fotodokumentace povrchu vzorku Vz.23. Vlevo zvětšeno 20×, vpravo 100×

Na základě popisu patentu [44] umožňuje vrstva nanolaku tzv. dýchatelnost při aplikaci na stavební konstrukce a tím snadnější propustnost korozního prostředí směrem k vytvořené ochranné nanovrstvě, která ale svými vlastnostmi zabraňuje dalšímu koroznímu napadení povrchu substrátu.

13.7 Korozní zkouška v kondenzační komoře dle ČSN 03 8131

Korozní zkouška v kondenzační komoře byla provedena v laboratoři VŠB-TU Ostrava dle metodiky uvedené v kapitole 12.8. Pro experimentální práce nebyla použita skutečná kondenzační komora. Pro simulaci kondenzační komory byl v laboratoři použit skleněný exsikátor a elektrická pec s automatickou regulací teploty. Do elektrické pece se umístil exsikátor s experimentálními vzorky K01 až K06 a kondenzační kapalinou, kterou tvořila destilovaná voda. Parametry simulované kondenzační komory jsou uvedeny v tab. 30.

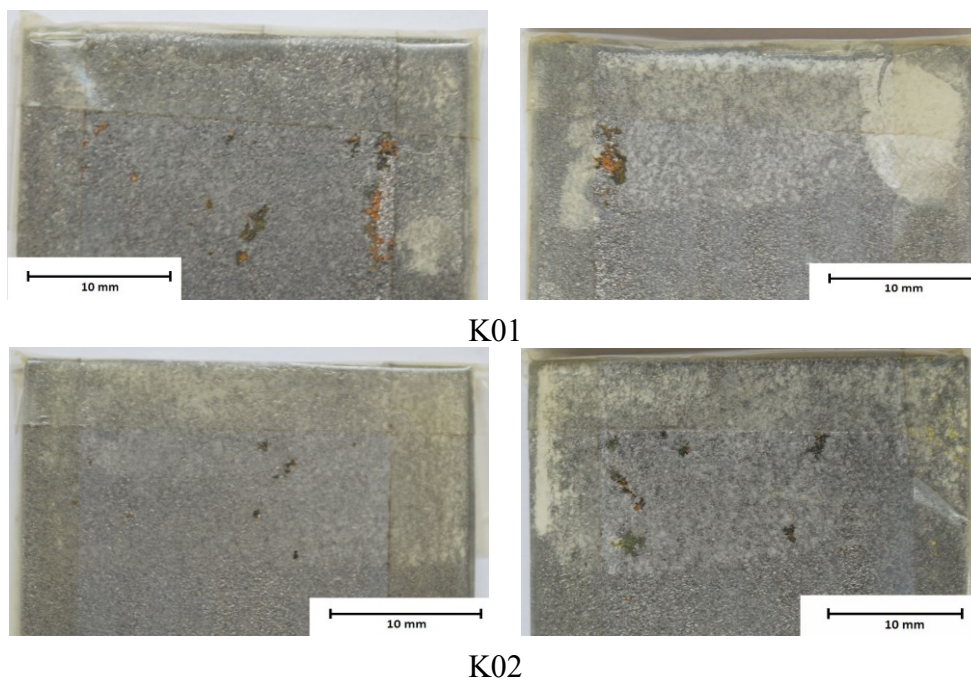
Tab. 30 Parametry kondenzační komory

Celkový objem exikátoru [l]	Druh kondenzační kapaliny	Objem kondenzační kapaliny [l]	Teplota vně prostoru exsikátoru [°C]	pH kondenzační kapaliny
10,70	destilovaná voda	9,00	35	7,98

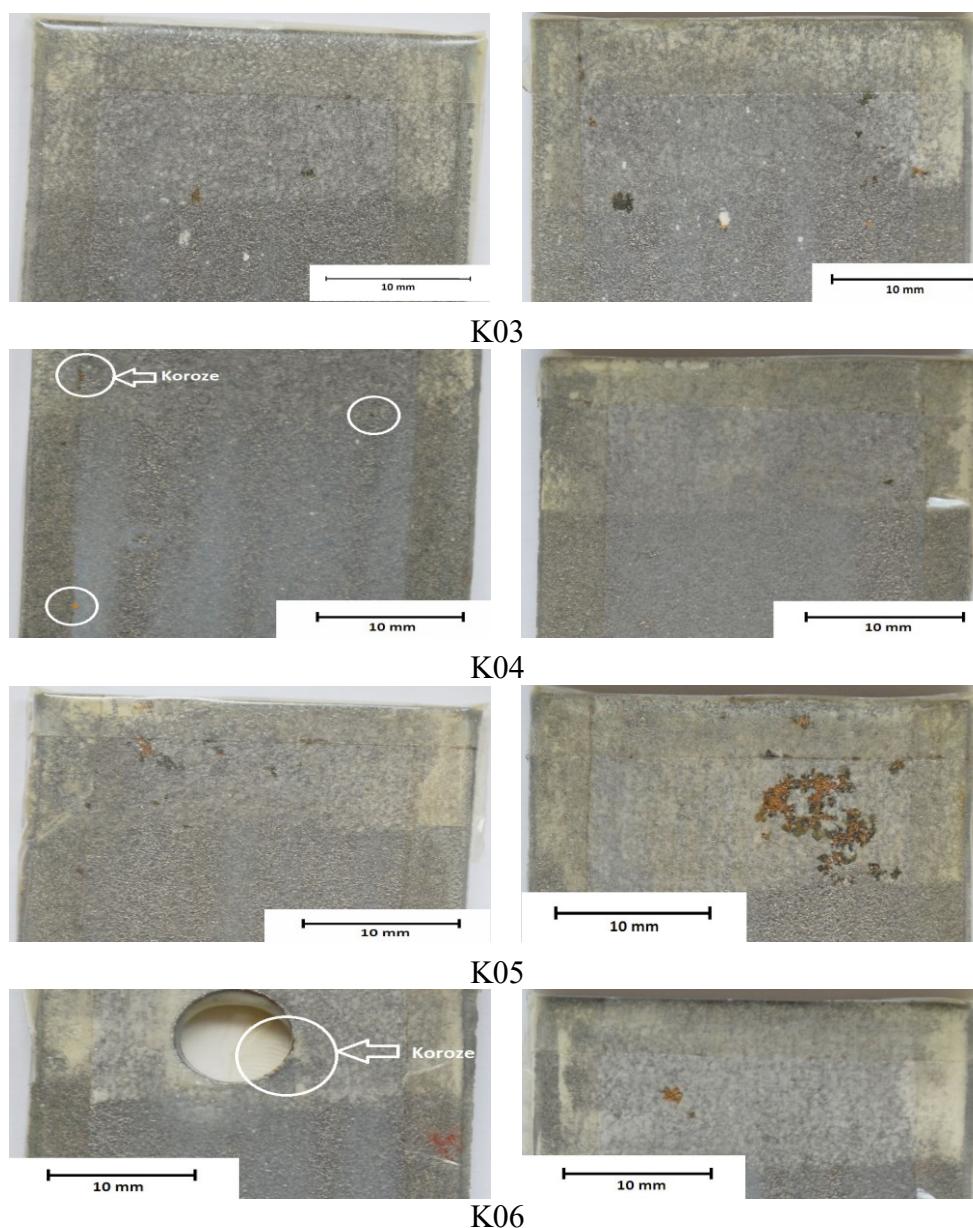
13.7.1 Výsledky korozní zkoušky v kondenzační komoře

Experimentální zkoušky v kondenzační komoře probíhaly v intervalech 1,5 hodiny, 3 hodiny a 6 hodin. V uvedených časových intervalech byla prováděna fotodokumentace experimentálních vzorků K01 až K06. Hodnocení degradace nátěru dle ČSN EN ISO 4628 je uvedeno v tab. 31. V příloze č. 4 je uvedena podrobná fotodokumentace experimentálních vzorků K01 až K06 exponovaných v kondenzační komoře. Pouhým okem viditelné korozní změny v intervalech 1,5 a 3 hodiny na experimentálních vzorcích nebyly pozorovatelné.

Viditelné korozní změny v kondenzační komoře se projeví až po 6 hodinách. Detaily povrchů experimentálních vzorků s korozi jsou uvedeny na obr. 79 a obr. 80. Hodnocení degradace povrchu experimentálních vzorků po 6 hodinách v kondenzační komoře dle ČSN EN ISO 4628 je uvedeno v tab. 32.



Obr. 79 Fotodokumentace detailů povrchů vzorků K01 až K02



Obr. 80 Fotodokumentace detailů povrchů vzorků K03 až K06

Po 1,5 hodině ani po 3 hodinách korozní zkoušky nebyla viditelná degradace nátěrového systému včetně korozního napadení.

Po šesti hodinách v kondenzační komoře se projevila výrazně degradace nátěrového systému včetně viditelné koroze. Koroze se rozvinula v okrajových částech vzorků, kde byla před aplikací nátěrového systému provedena simulace popisu technickou křídou formou čáry na okrajích experimentálních vzorků K01 - K06. Korozní změny v oblasti popisu technickou křídou byly u všech vzorků K01 - K06. U vzorku K06 byla patrná koroze v oblasti hrany otvoru experimentálního vzorku. U vzorku K04 byla koroze i mimo krajní části vzorku označené technickou křídou.

Vzhledem k velikosti oblasti koroze je u vzorků K04 a K05 koroze zvýrazněna na obr.80 bílým kruhem.

Tab. 31 Degradace nátěrového systému dle ČSN EN ISO 4628
po 3 hodinách expozice v korozní komoře

Vzorek č.	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorézavění	Intenzita změn
K01	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0
K02	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0
K03	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0
K04	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0
K05	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0
K06	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0

Tab. 32 Degradace nátěrového systému dle ČSN EN ISO 4628
po 6 hodinách expozice v korozní komoře

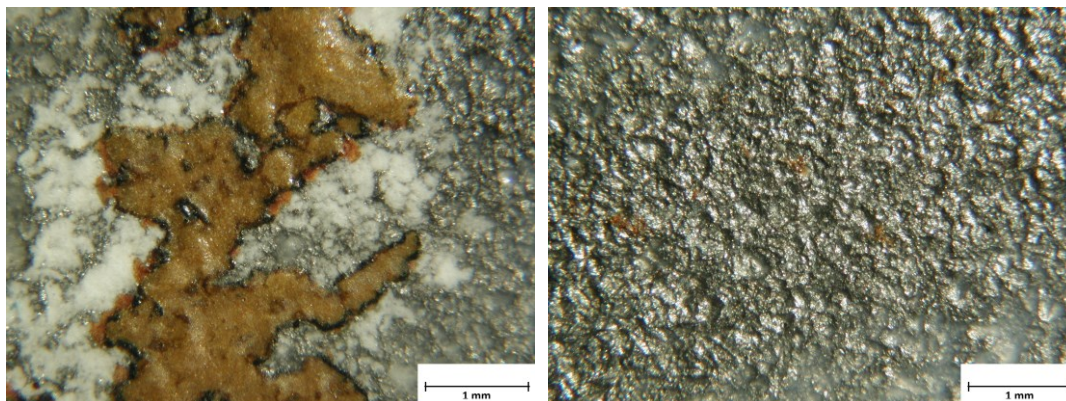
Vzorek č.	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorézavění	Intenzita změn
K01	2 (S2)	Ri 1 (S2)	1
K02	1 (S1)	Ri 1 (S1)	1
K03	1 (S1)	Ri 0 (S1)	1
K04	0 (S1)	Ri 0 (S1)	1
K05	2 (S3)	Ri 2 (S2)	1
K06	2 (S2)	Ri 1 (S2)	1

Výsledky u všech vzorků určených pro kondenzační komoru byly podobné. V místě okrajů vzorků, kde byl umístěn simulovaný popis silnou vrstvou hydrofilní křídly, došlo ke korozi a podkorodování vlivem průniku vody na rozhraní kovový substrát - nátěr. V místě, kde byla ve větším množství hydrofilní křída, byl narušen vznik fosfátové nanovrstvy, která zajišťuje spolu se složkou Aerosilu bariérovou korozní ochranu. Zároveň rozpuštěním křídly došlo pravděpodobně ke vzniku kyseliny sírové a následně k její reakci s kovem za vzniku koroze, která se objevila v oblastech popisu. Na plochách s křídovým popisem spolu s vrstvou hydrofilních prachových křídových částic se projevila rozsáhlá koroze oproti plochám s křídovým popisem spolu s hydrofobními prachovými částicemi křídly. Na ostatních plochách bez křídového popisu docházelo ke koroznímu napadení v kontaktu s hydrofilním křídovým prachem v minimálním rozsahu. Na ostatních plochách bez křídového popisu v kontaktu pouze s křídovým hydrofobním prachem docházelo ke koroznímu napadení v minimálním omezeném rozsahu. Na plochách s křídovým popisem spolu s vrstvou hydrofilních cihlových

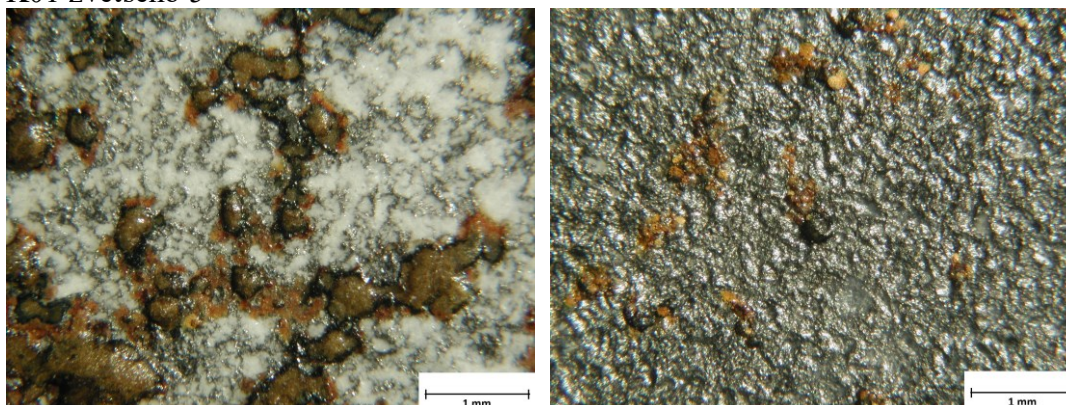
prachových částic a s vrstvou hydrofobních cihlových prachových částic docházelo k podstatně menšímu koroznímu napadení oproti vzorkům s křídovými částicemi. Totéž platí o zbylých zplodinách, které jsou v kontaktu pouze hydrofilními a hydrofobními částicemi cihly. Fotodokumentace degradace nátěru experimentálních vzorků po zkoušce v kondenzační komoře viz. příloha č.4.

13.7.2 Povrch substrátu po korozní zkoušce v kondenzační komoře

Po ukončení korozní zkoušky v kondenzační komoře byly povrchy experimentálních vzorků K01 až K06 pozorovány pod mikroskopem Neophot 2 v laboratoři VŠB-TU Ostrava. Podrobná fotodokumentace povrchu experimentálních vzorků je uvedena v příloze č.5.

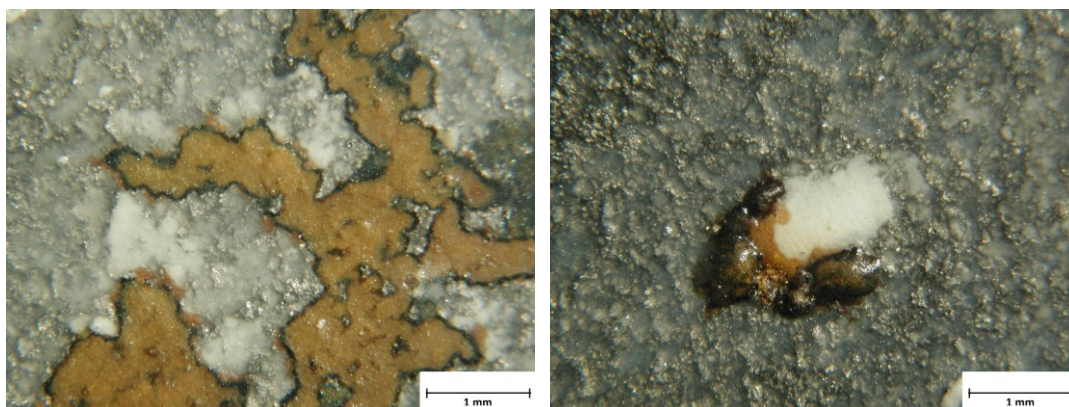


K01 zvětšeno 5×

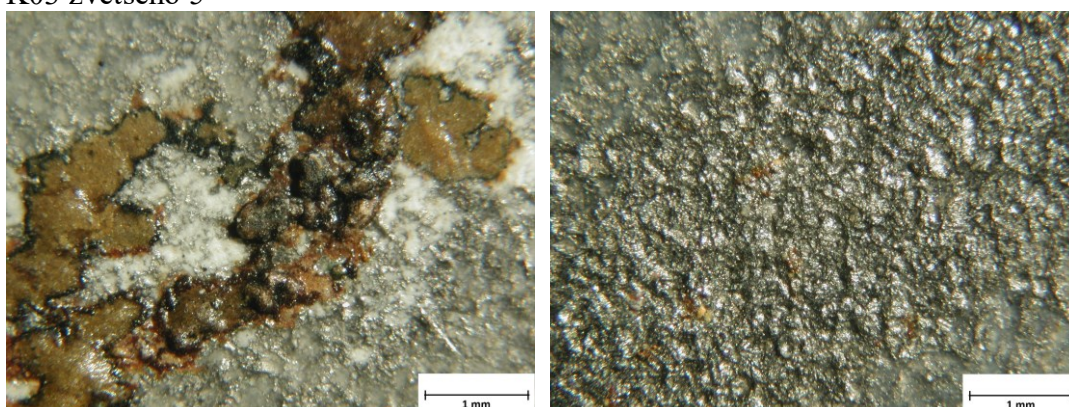


K02 zvětšeno 5×

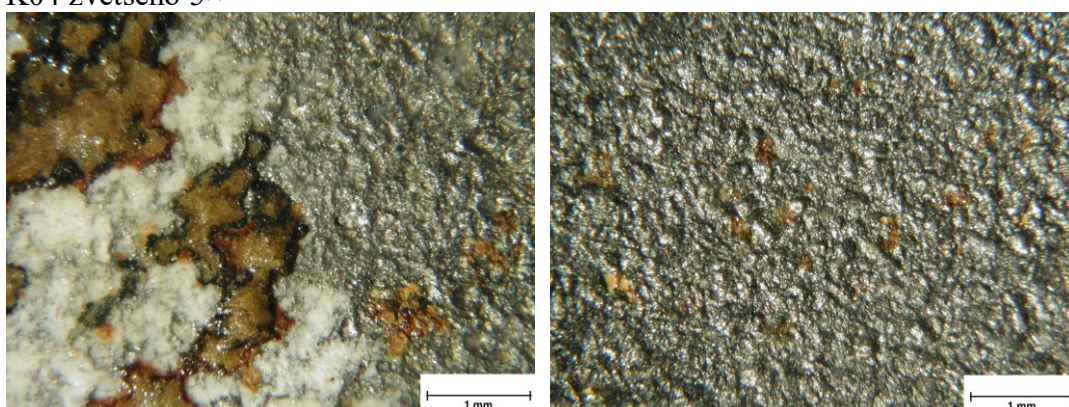
Obr. 81 Fotodokumentace povrchu vzorků K01 - K02



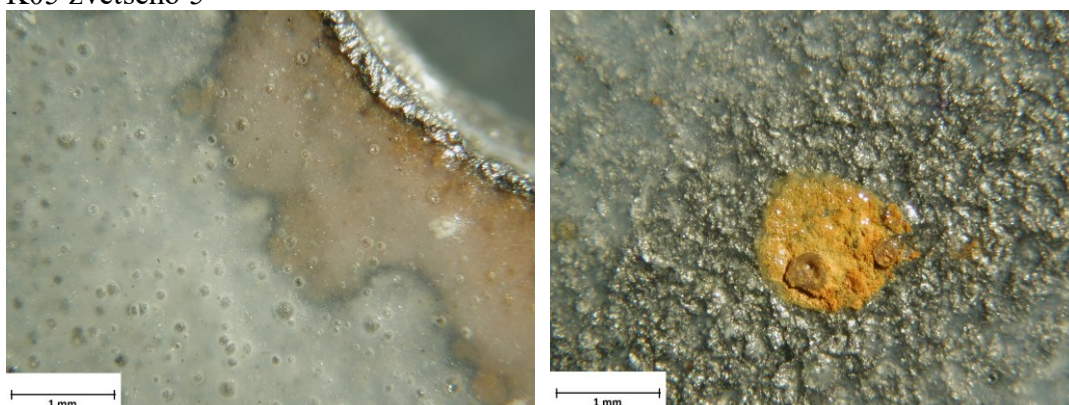
K03 zvětšeno 5×



K04 zvětšeno 5×



K05 zvětšeno 5×



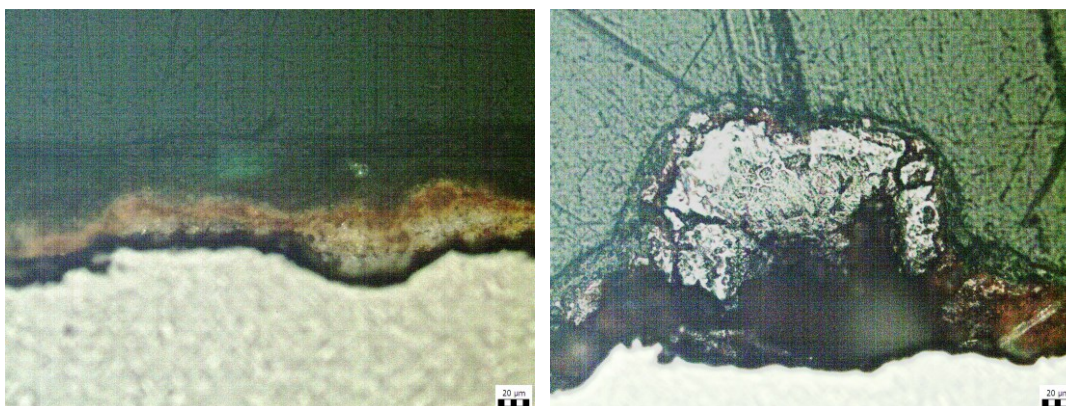
K06 zvětšeno 5×

Obr. 82 Fotodokumentace povrchu vzorků K03 - K06

Na obr. 81 a obr. 82 jsou zobrazeny povrchy experimentálních vzorků po ukončení kondenzační zkoušky. Na pravé straně obrázků jsou zobrazeny části experimentálních vzorků substrátů, na které byl umístěn popis technickou křídou. Na levé straně obr. 81 a obr. 82 jsou uvedeny povrchy substrátů s prachovými částicemi dle tab.7. Koroze v oblastech s uměle nanesenými prachovými částicemi vykazovala malé korozní napadení. Koroze byla bodového charakteru s prorezavěním na povrch nátěrového systému. Koroze v oblastech popisu technickou křídou byla charakteristická velkou plochou napadení.

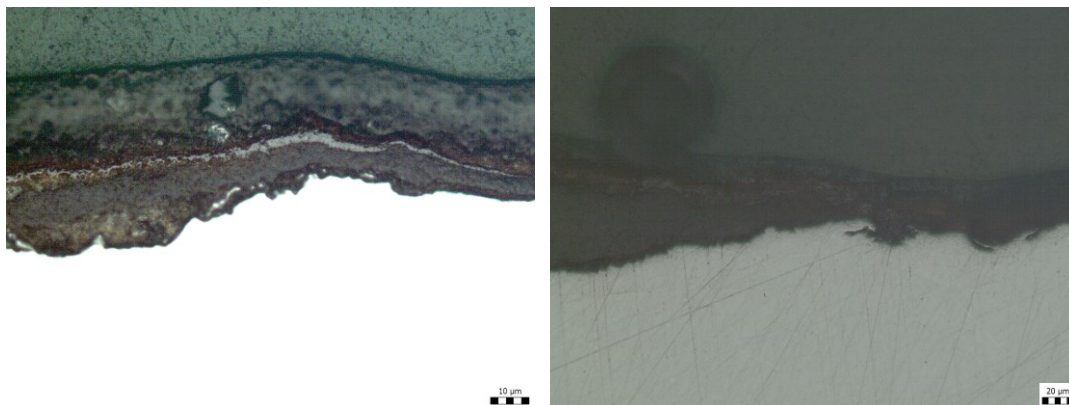
13.7.3 Studium nátěrového systému na rozhraní substrát nátěrový systém po korozní zkoušce v kondenzační komoře

Experimentální vzorky 3, 5, 6 definované v tab. 8 byly po expozici v kondenzační komoře a po provedení pozorování uvedené v kapitole 13.7.2 přeznačeny a rozřezány přibližně v oblasti koroze. Nařezané vzorky byly za studena vakuově zality směsí reflexní epoxidové pryskyřice s tvrdidlem. Po vytvrzení vzorků byl proveden výbrus a leštění vzorku brusnou pastou. Příprava vzorků a fotodokumentace byla provedena v laboratoři VŠB-TU Ostrava. Podrobná fotodokumentace povrchu experimentálních vzorků je uvedena v příloze č.6.

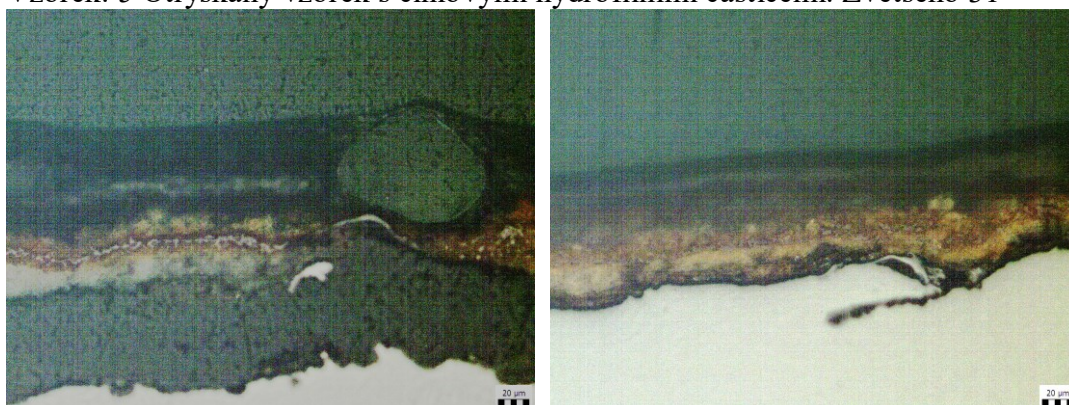


Vzorek: 3 Otryskaný vzorek s křídovými hydrofobními částicemi. Zvětšeno 31×

Obr. 83 Fázové rozhraní substrát-nátěrový systém experimentálních vzorku 3



Vzorek: 5 Otryskaný vzorek s cihlovými hydrofilními částicemi. Zvětšeno 31 \times

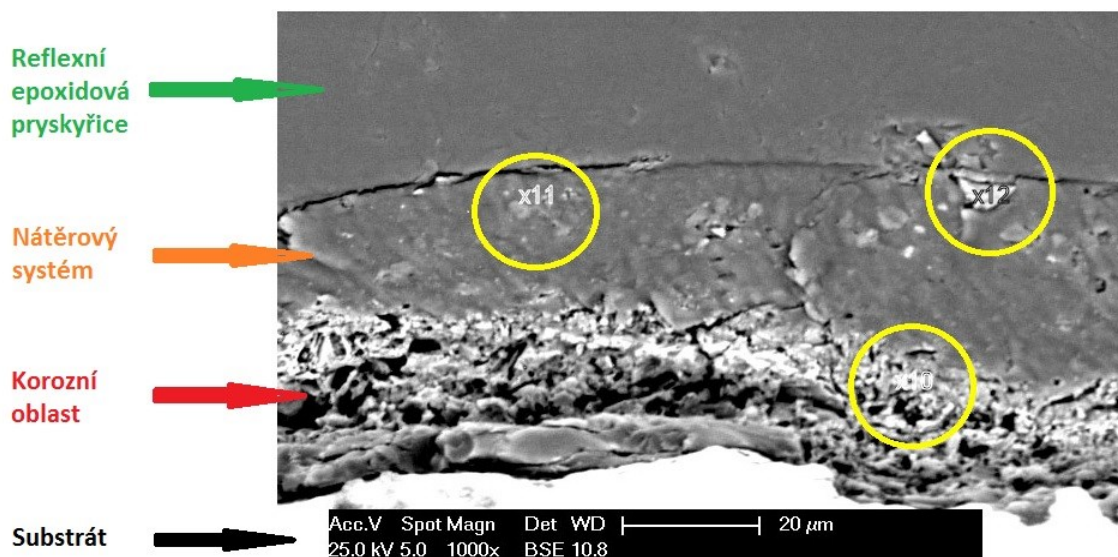


Vzorek: 6 Otryskaný vzorek s prachovými částicemi po otryskání. Zvětšeno 31 \times

Obr. 84 Fázové rozhraní substrát-nátěrový systém experimentálních vzorku 3

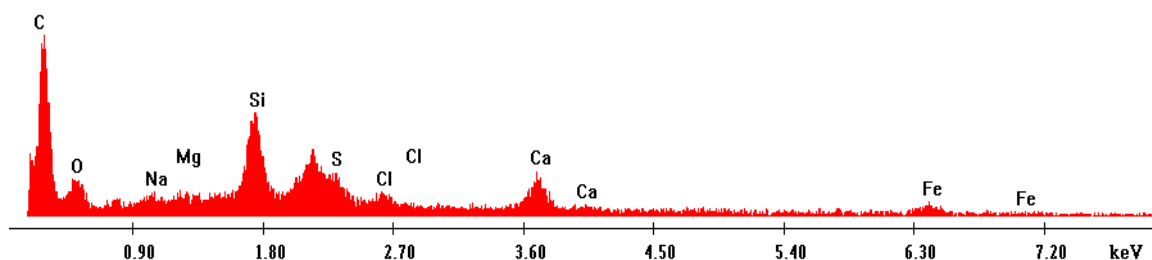
13.7.4 Chemická analýza vzorků na fázovém rozhraní substrát nátěrový systém po korozní zkoušce v kondenzační komoře

Pro chemickou analýzu fázového rozhraní substrát-nátěrový systém byly vybrány vzorky s označením 3 a 5. Chemická analýza byla provedena na elektronovém mikroanalyzátoru Philips XL Series 30 v Centru Nanotechnologií VŠB TU-Ostrava.



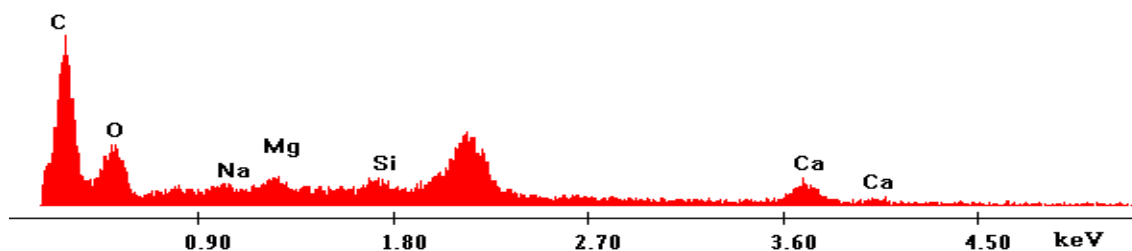
Obr. 86 Fázové rozhraní vzorku 3 (EDAX 1125/16) substrát - nátěrový systém s křídovým popisem spolu s hydrofobními částicemi křídý

Na obr 86 je fázové rozhraní substrát-nátěrový systém vzorku 3, kde byly aplikovány hydrofobní prachové částice křídý na křídový popis před aplikací nátěrového systému. Na obr. 86 jsou vyznačeny tři body, u kterých v daném místě byla provedena chemická analýza. Bod x12 - zachycuje prachovou částici, x11 - nátěrový systém, x10 - korozní oblast pod nátěrovým systémem. V rámci hodnocení chemické analýzy je důležité si uvědomit zkreslení měřicího přístroje vlivem rozptylu rtg paprsků, které ovlivňuje výsledné složení pozorované oblasti.



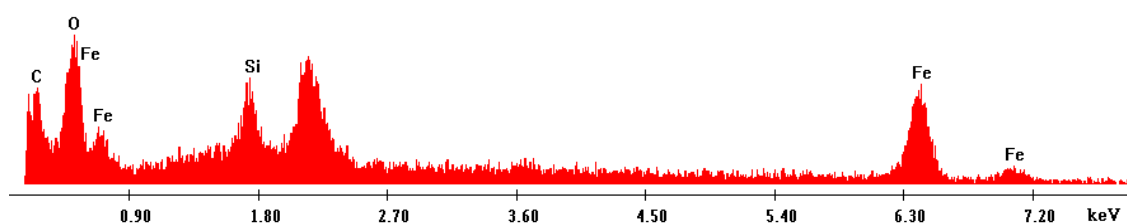
Obr. 87 Vzorek 3 (EDAX 1125/16), SEM analýza bodu x12 uvedeného na obr 77.

Na obr. 87 je uvedena SEM analýza bodu x12. Jedná se o prachovou částici, která je uzavřena v oblasti nátěrového systému.



Obr. 88 Vzorek 3 (EDAX 1125/16), SEM analýza bodu x11 uvedeného na obr 77.

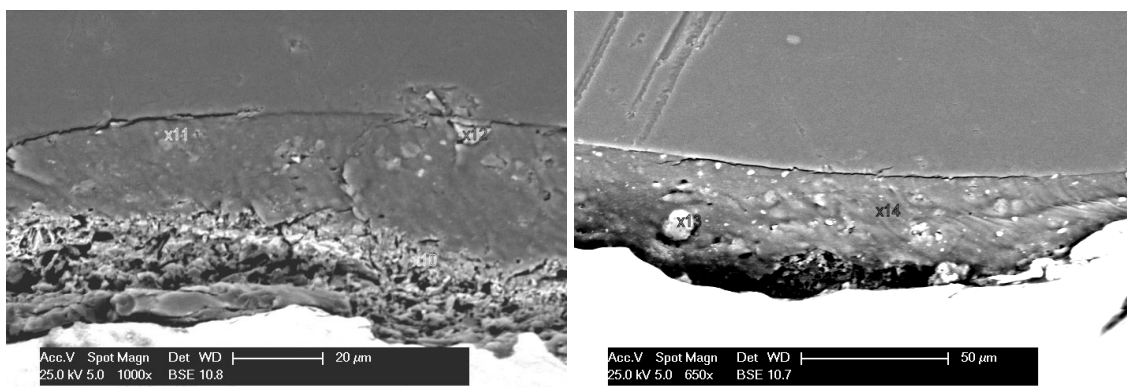
Na obr. 88 je uvedena SEM analýza bodu x11. Jedná se o nátěrový systém.



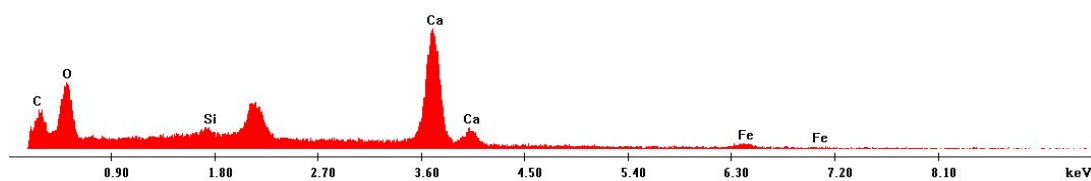
Obr. 89 Vzorek 3 (EDAX 1125/16), SEM analýza bodu x10 uvedeného na obr 77

Na obr. 89 je uvedena SEM analýza bodu x10. Jedná se o korozní oblast, která je uzavřená pod nátěrovým systémem.

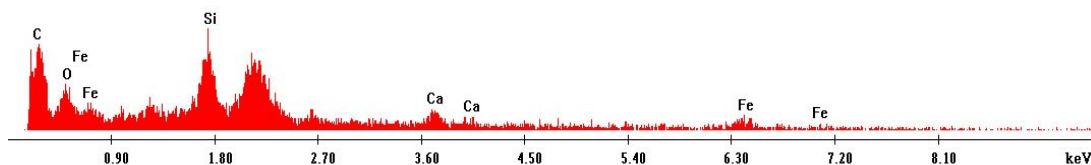
Podrobná fotodokumentace řezu fázového rozhraní substrát-nátěrový systém včetně SEM analýzy vzorku 3 (EDAX1125/16) provedena v Centru Nanotechnologií je uvedena v příloze č.7 a protokoly v příloze č.8.



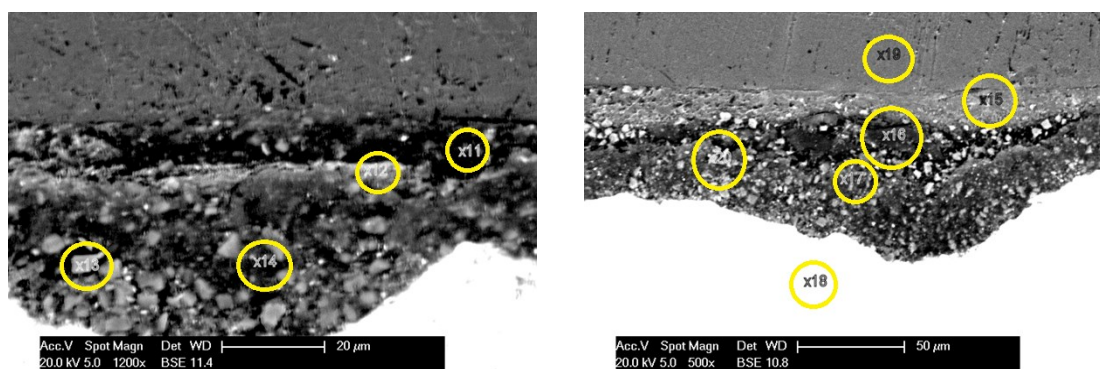
Obr. 90 Fázové rozhraní vzorku 3 na (EDAX 1125/16) substrát - nátěrový systém na dvou různých místech povrchu vzorku s křídovými hydrofobními částicemi



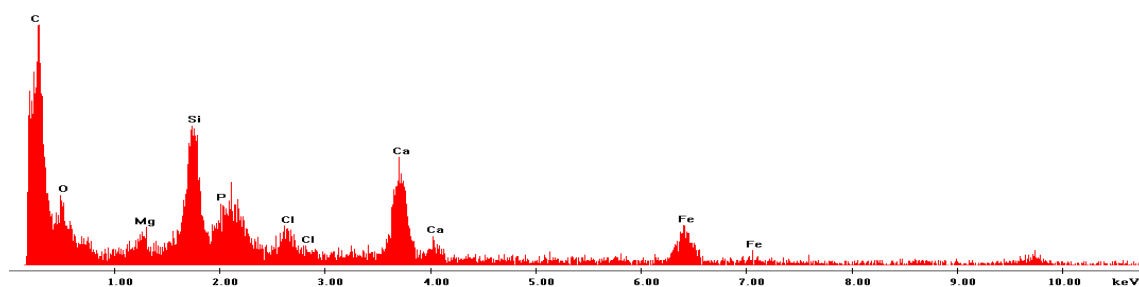
Obr. 91 Vzorek 3 (EDAX 1125/16), SEM analýza bodu x13 z obr. 90.



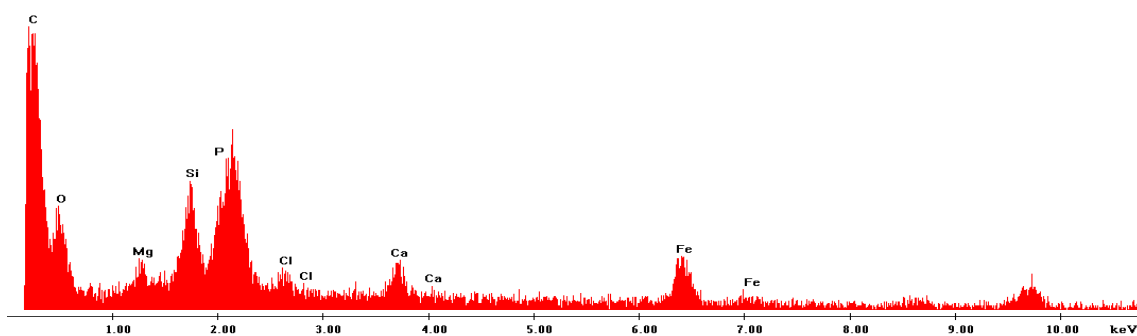
Obr. 92 Vzorek 3 (EDAX 1125/16), SEM analýza bodu x14 z obr. 90.



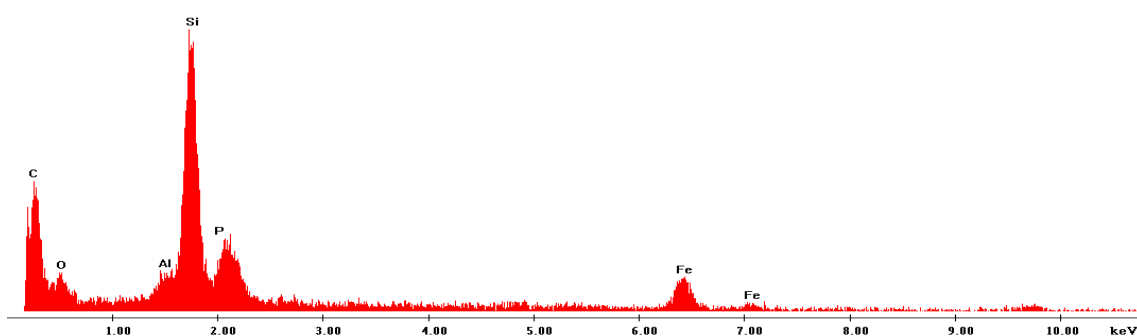
Obr. 93 Fázové rozhraní vzorku 3 (EDAX 1125/16) na fázovém rozhraní substrát - nátěrový systém na dvou různých místech stejného vzorku s křídovými hydrofobními částicemi



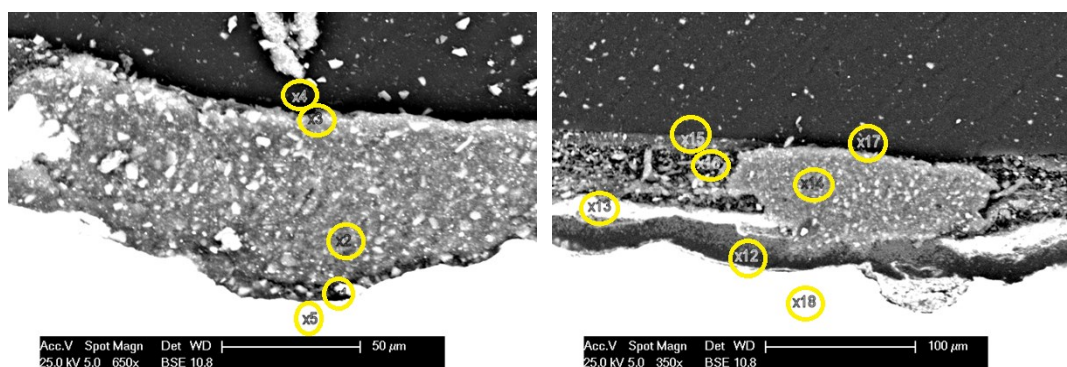
Obr. 94 Vzorek 3 (EDAX 1125/16), SEM analýza bodu x11 z obr. 93.



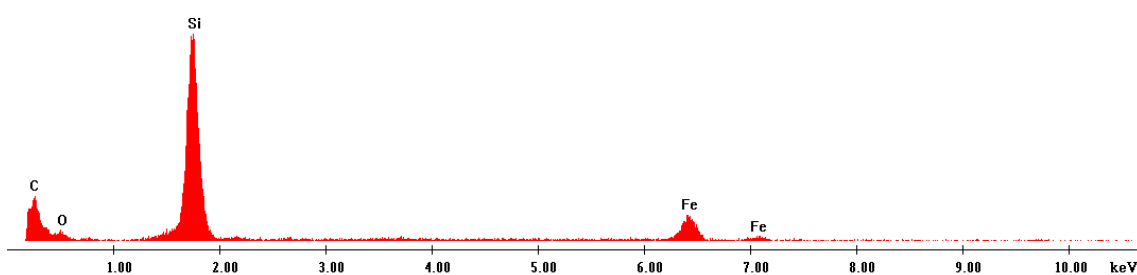
Obr. 95 Vzorek 3 (EDAX 1125/16), SEM analýza bodu x12 z obr. 93.



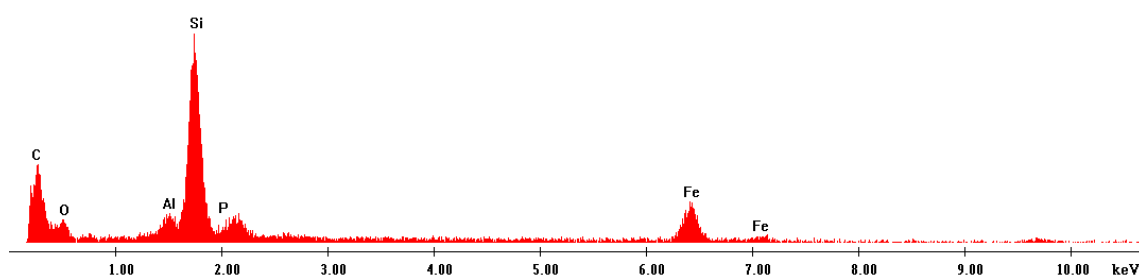
Obr. 96 Vzorek 3 (EDAX 1125/16), SEM analýza bodu x14 z obr. 93.



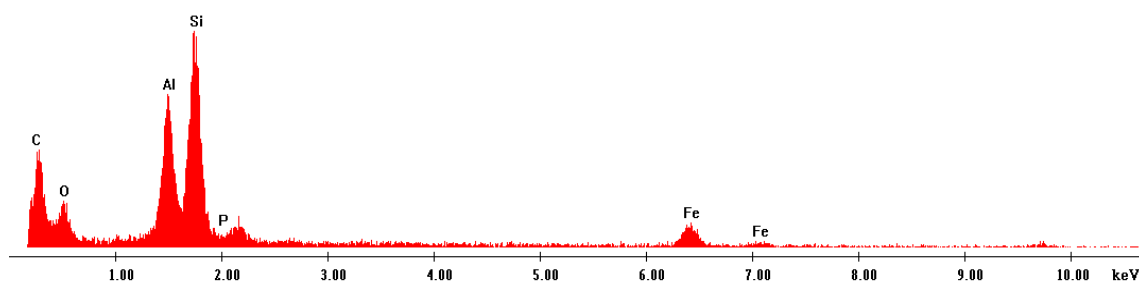
Obr. 97 Fázové rozhraní vzorku 5 (EDAX 1126/16) na fázovém rozhraní
substrát - nátěrový systém na dvou různých místech stejného vzorku
s cihlovými hydrofilními částicemi



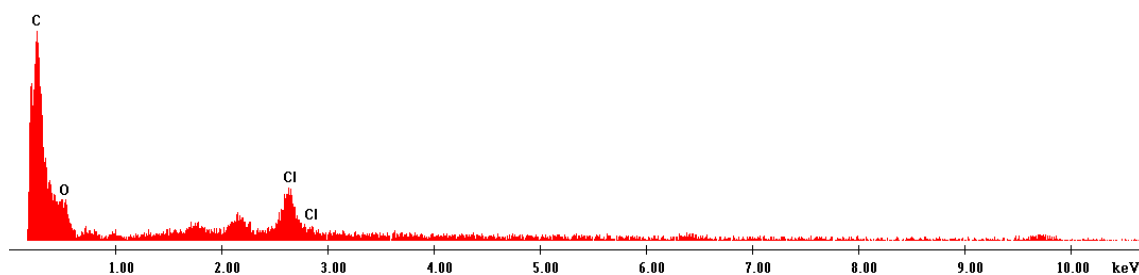
Obr. 98 Vzorek 5 (EDAX 1126/16), SEM analýza bodu x1 z obr. 97.



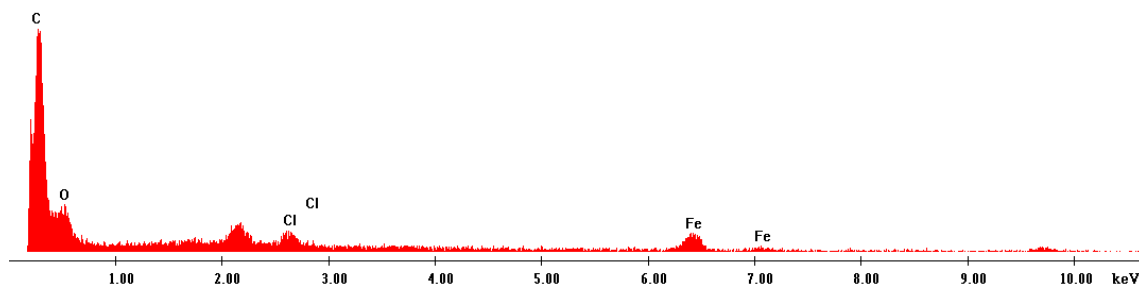
Obr. 99 Vzorek 5 (EDAX 1126/16), SEM analýza bodu x2 z obr. 97.



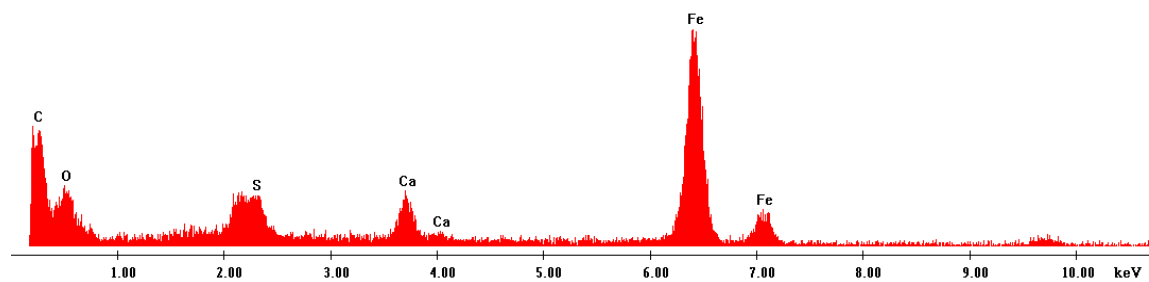
Obr. 100 Vzorek 5 (EDAX 1126/16), SEM analýza bodu x3 z obr. 97.



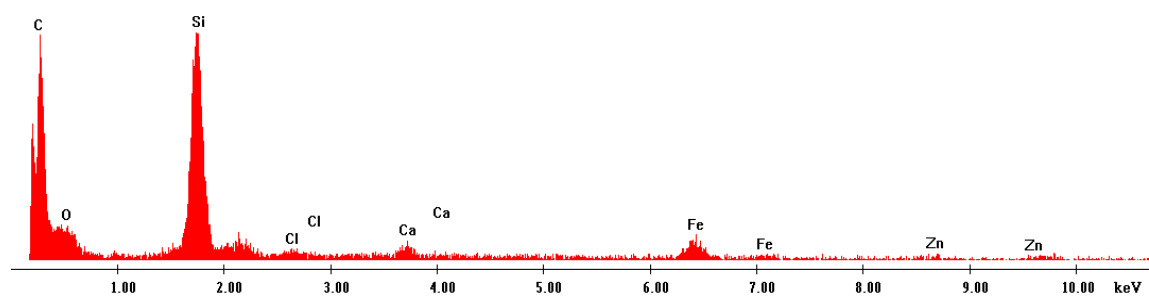
Obr. 101 Vzorek 5 (EDAX 1126/16), SEM analýza bodu x4 z obr. 97.



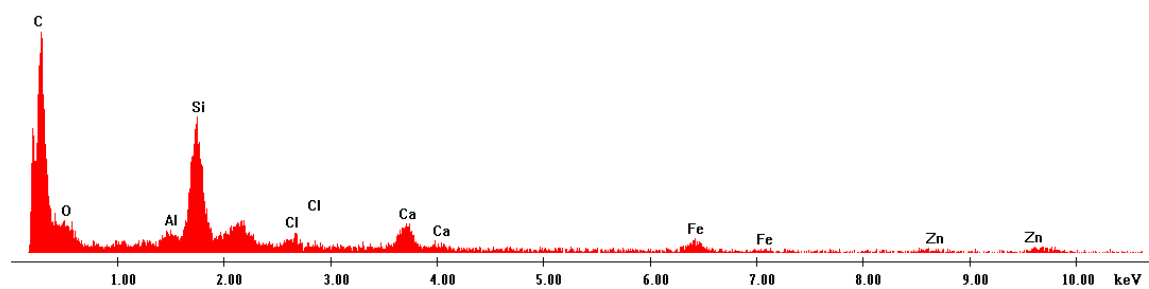
Obr. 102 Vzorek 5 (EDAX 1126/16), SEM analýza bodu x12 z obr. 97.



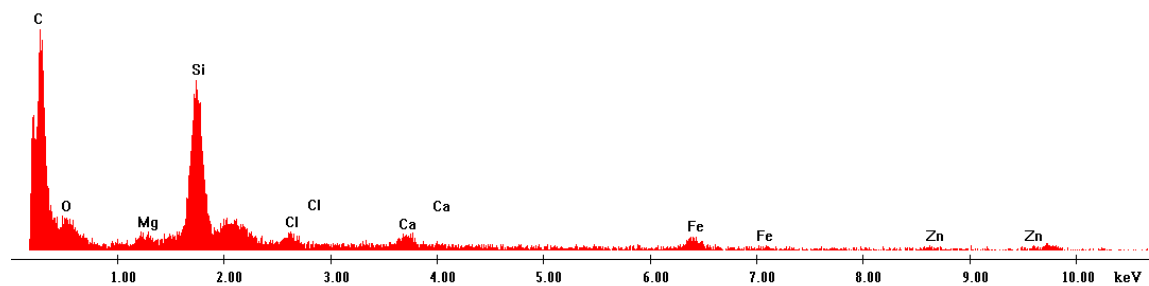
Obr. 103 Vzorek 5 (EDAX 1126/16), SEM analýza bodu x13 z obr. 97.



Obr. 104 Vzorek 5 (EDAX 1126/16), SEM analýza bodu x16 z obr. 97.



Obr. 105 Vzorek 5 (EDAX 1126/16), SEM analýza bodu x15 z obr. 97.



Obr. 106 Vzorek 5 (EDAX 1126/16), SEM analýza bodu x17 z obr. 97.

14 MĚŘENÍ MAGNETIZAČNÍCH KŘIVEK KOROZNÍCH ZPLODIN EXPERIMENTÁLNÍCH VZORKŮ K02 A K03 PO ZKOUŠCE V KONDENZAČNÍ KOMOŘE

Na základě výsledků hodnocení charakteru korozních produktů na fázovém rozhraní substrát-nátěrový systém optickou mikroskopií a SEM analýzou, bylo nutné provést další doplňující měření, které není uvedeno v metodice experimentálních prací. Vzhledem k tvorbě specifických ohraničených tmavých linií viz. obr. 82 v okolí hydrofilní křídly oproti hydrofobním částicím byl proveden další experiment za pomoci magnetického pole pro zjištění magnetických vlastností korozních produktů experimentálních vzorků.

Metodika experimentálního měření

Z experimentálních vzorků K02 a K03 byly odebrány vzorky koroze, které byly podrobeny vlivu magnetického pole, čímž se prokáže, zda produkty koroze vzorků K02 a K03 vykazují magnetické chování. Měření magnetizačních křivek jednotlivých vzorků proběhlo na Katedře fyziky, VŠB-TU Ostrava.

Měření hmotnosti korozních produktů ze vzorků K02 a K03

Hmotnost jednotlivých vzorků byla $3\times$ měřena pomocí digitálních analytických vah značky VIBRA HTR-220CE. Z těchto naměřených hodnot byla vypočtena průměrná hodnota.

Měření magnetizačních křivek korozních produktů ze vzorků K02 a K03

Vibrační magnetometr EV9 VSM firmy MicroSense je široce používaným experimentálním zařízením ke stanovení magnetických vlastností nejrůznějších typů materiálů. Tato experimentální technika je založena na principu, kdy vibrující vzorek umístěný do externího magnetického pole generovaného elektromagnetem indukuje napětí, které je snímáno detekčními cívkami a jehož velikost je přímo úměrná magnetickému momentu m , respektive magnetizaci M , měřeného vzorku. Vykreslení magnetického momentu jako funkci magnetického pole tvoří základní charakteristiky zkoumaného magnetického materiálu. Pro měření vzorků oceli bylo nastaveno na

měřicím přístroji VSM maximální magnetické pole 20 000 Oe = 2 T. Měření probíhalo při teplotě 20 °C.

Výsledky experimentálních prací

(Magnetizační) hysterezní křivka magnetického materiálu je uzavřená křivka magnetování, která vyjadřuje závislost magnetizace M na intenzitě magnetického pole H při změně intenzity magnetického pole od $-H_s$ do $+H_s$. Jde tedy o graf podávající informaci o tom, jaký vliv má působení vnějšího magnetického pole na magnetické vlastnosti zkoumaného materiálu. Nastavení měřicího přístroje je uvedeno v tab.33. Hlavní magnetické parametry magnetizačních křivek jsou uvedeny v tab. 34. Hysterezní smyčka testovaného vzorku koroze vzorku K02 je uvedena v grafu č. 11.

Důležité hodnoty magnetizační křivky:

M_s - magnetizace v nasycení, je definována jako magnetizace, při které jsou všechny magnetické momenty atomů orientovány ve směru přiloženého magnetického pole.

M_r - remanentní (zbytková) magnetizace, která v materiálu zůstává i při poklesu intenzity magnetického pole na nulu.

H_c - koercitivní pole, udává velikost vnějšího pole, při kterém je celková magnetizace v materiálu nulová.

Převod jednotek ze soustavy CGS na jednotky soustavy SI:

Jednotky magnetického pole:

$$1 \text{ Oe (Oersted)} = \frac{1000}{4\pi} \cong 79,577 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

$$10 \text{ Oe} = 1 \text{ mT}$$

Magnetizace stanovená na jednotku hmotnosti:

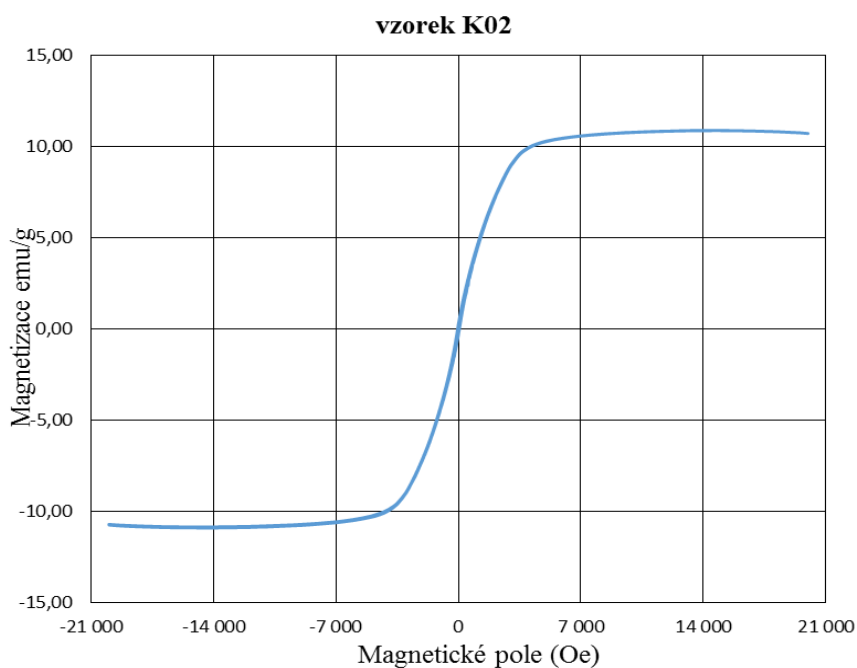
$$1 \frac{\text{emu}}{\text{g}} = 1 \frac{\text{Am}^2}{\text{kg}}$$

Tab 33 Parametry nastavení magnetického pole při měření a krok měření

Parametry nastavení magnetického pole (Oe)		Krok měření (Oe)
od	do	
- 20 000	- 3 000	500
- 3 000	3 000	30
3 000	20 000	500

Tab 34: Hlavní magnetické parametry z VSM magnetizačních křivek

Vzorky	K2
<i>Ms</i> (emu/g) Magnetizace v nasycení	10,9037
<i>Hc</i> (Oe) Koercitivní pole	42,8100
<i>Mr</i> (emu/g) Remanentní magnetizace	0,2467
Průměrná hmotnost vzorku (g)	0,0016



Graf č. 11 Hysterezní smyčka testované koroze ze vzorku K02

Z výsledku měření magnetických parametrů vzorků s označením K2, K3 bylo zjištěno, že korozní produkty ze vzorku K2 (vzorek s křídovými hydrofilními částicemi) vykazuje silně magnetické vlastnosti, je feromagnetický. Naopak korozní produkty ze vzorku K3 (vzorek s křídovými hydrofobními částicemi) nevykazuje magnetické chování.

15 ZÁVĚR

Cílem disertační práce bylo studium vlivu čistoty povrchu substrátu na korozní odolnost nátěrového systému. Vzhledem k požadavkům současné doby pro používání nátěrových systémů a podle Směrnice rady Evropského parlamentu 2004/42/ES je požadováno používání nátěrových systémů s nízkým obsahem VOC látek a proto jsou preferovány vodou ředitelné nátěrové systémy. Výše uvedený a experimentálně ověřený transportní nátěrový systém zajišťuje po aplikaci na hutní výrobky protikorozní ochranu po dobu minimálně 3-6 měsíců v agresivním korozním prostředí C5 až CX, pokud je technologie jeho aplikace dodržena dle patentu č. 304 190.

Disertační práce řeší problém vlivu prachových částic ulpělých na povrchu substrátu na korozní a adhezní vlastnosti aplikovaného transportního transparentního nátěrového systému. Současně s problematikou koroze vlivem prachových částic pod aplikovaným nátěrem je předmětem experimentálních prací vliv technické popisové křídly, která se uplatňuje na popisy kovových dílců pro transport a následnou montáž na místě určení. Koroze, která vzniká pod popisovou technickou křídou je v současné době prioritou řešené problematiky, neboť tato koroze znehodnocuje popis a ovlivňuje technologii montáže.

V teoretické části práce byl proveden rozbor dostupných poznatků o vlivu čistoty povrchu substrátu na korozní odolnost nátěrového systému, vlivu prachových částic na korozní znehodnocení povrchu substrátu, chování prachových částic vzhledem k povrchu substrátu a technologie ochranných povrchů před korozním napadením pro krátkodobou nebo dlouhodobou protikorozní odolnost. Na základě teoretického studia se dospělo k závěru, že se mohou tyto částice chovat ve vodném prostředí což je rozpouštědlová složka vodou ředitelných nátěrových systémů jako částice, které se získávají pomocí technologie flotace. Může se zde vyskytovat princip flotačního procesu v mikro, nano rozměrech a objemech. Na základě tohoto teoretického výsledku se dospělo k závěru, že by bylo vhodné tuto experimentální skutečnost ověřit, zda se tam princip flotace uskutečňuje nebo ne a do jaké míry má vliv na znehodnocení substrátu. Na základě toho byly stanoveny experimentální zkoušky a metodika experimentálních prací.

V experimentální části disertační práce byla navržena metodika nejen hodnocení charakteru povrchu, drsnost, znečištění povrchu, kde se použily prachové částice z různých materiálů, jako jsou cihlové rozdrčené složky, popisná křída nebo kovové

prachové částice po otryskání. Prachové částice byly rozděleny na dvě skupiny. Částice, které byly označeny jako hydrofilní s tím, že částice jsou schopny na sebe vázat vodu a částice, které byly ošetřeny speciálním sprejem pro odpuzování vody a byly označeny jako hydrofobní částice. Tyto částice byly následně aplikovány na substráty a následně byl aplikován nátěrový systém, který byl vytvořen dle předepsaného patentu. U části vzorků byla hodnocena přilnavost nátěrového systému a potom byly vzorky vloženy následně do solné komory na 3 h, 6 h, 12 hodin a do kondenzační komory na 1,5 h, 3 h, a 6 hodin. U jednotlivých vzorků byla provedena fotodokumentace před a po expozici v korozních komorách včetně fotodokumentace na příčných řezech.

Popis hydrofilní technickou křídou je nejvíce zřetelný po korozních zkouškách u vzorků, kde na vrstvu hydrofilní křídly byla nanесena vrstva upravených hydrofobních prachových částic křídly. U vzorků, kde byly pouze vrstvy hydrofilní křídly, došlo po korozních zkouškách k degradaci popisu vlivem koroze.

Na základě výsledků hodnocení charakteru korozních produktů na fázovém rozhraní substrát-nátěrový systém optickou mikroskopií a SEM analýzou bylo nutné provést další doplňující měření. Vzhledem k tvorbě specifických ohraničených tmavých linií, viz. obr. 82, v okolí hydrofilních částic křídly oproti hydrofobním částicím křídly, byl dodatečně proveden další experiment za pomoci magnetického pole pro zjištění magnetických vlastností korozních produktů u experimentálních vzorků K02 a K03.

Z výsledků měření magnetických parametrů vzorků s označením K02 a K03 bylo zjištěno, že korozní produkty dobře odstranitelné o hmotnosti 0,0016 g ze vzorku K02 (vzorek pouze s křídovými hydrofilními částicemi v místě technického popisu) vykazovaly silně magnetické vlastnosti. Naopak korozní produkty o hmotnosti 0,0007 g velmi obtížně odstranitelné ze vzorku K03 (vzorek s kombinovanou vrstvou křídových hydrofilních a hydrofobních částic v místě technického popisu) nevykazovaly magnetické chování.

Poměr objemu hydrofilní složky křídly k objemu nátěrovému systému a poměr hydrofilní a hydrofobní směsi křídly k objemu nátěrovému systému ovlivňuje výsledné korozní napadení.

Na základě výsledků doplňujícího měření lze usuzovat, že došlo v procesu aplikace nátěrového systému na substrát s popisem technickou křídou a jeho dalšího zpracování dle patentu č. 304 190 ke složitým chemickým reakcím. Aplikace nátěrového systému se provádí na povrch substrátu o teplotě 40 °C s následným vytvrzováním nátěrového systému při teplotě 70-80 °C po dobu 20 minut a následným volným ochlazováním na vzduchu. Vzhledem k tomu, že sádrovec (dihydrát síranu

vápenatého), který je obsažen v popisové křídě a současně se používá jako výchozí materiál pro výrobu sádry, může při aplikaci a vytvrzování nátěrového systému docházet k jeho mokré dehydrataci (nátěrový systém obsahuje vodu) při teplotě 80 °C a tím k tvorbě sádry (polyhydrát alfa). Následně při kontaktu s korozním prostředím obsahujícím vodu dochází k rehydrataci sádry, která je doprovázena exotermickou reakcí, při níž se sádra zahřívá, zvětšuje svůj objem, tedy expanduje za zpětného vzniku dihydrátu síranu vápenatého. Možný vznik sádry v nátěrovém systému, její tuhnutí a zpětná rehydratace na sádrovec, kterou urychlují chloridy nebo sírany, nižší poměr voda : sádra a teplota do 37 °C, odpovídají podmínkám pro korozní zkoušky. V procesu reakce sádrovce s vodou současně dochází ke vzniku kyseliny sírové, která podporuje vznik korozních produktů. Uvolněné teplo při rehydrataci se pohybuje od 17,2 do 19,3 kJ/mol. Neustálou změnou sádrovce v sádru a naopak, může docházet ke změnám tvrdosti popisové křídý, mechanickému namáhání nátěru spolu s namáháním spojeného se změnou objemu při rehydrataci sádry, což může vést ke vzniku trhlin v nátěru a tím ke snadnějšímu prostupu korozního prostředí k ocelovému substrátu. Vzhledem k tomu, že nátěrový systém obsahuje soli kyseliny oktadekanové, potaš, hydrofobní aerosil, akrylátovou složku a další organické složky včetně vody, lze předpokládat, že došlo v procesu vytvrzování nátěrové hmoty při teplotě 40-80 °C (teplota povrchu ocelového substrátu při aplikaci nátěru a teplota vytvrzování nátěru) k polymerizaci a tvorbě chemické sloučeniny podobné organickému sklu (polymerační teplota předpolymeru methylnmethakrylátu se pohybuje v rozmezí 30-130 °C) a tímto korozní produkt nevykazoval magnetické vlastnosti. Poněvadž sádra představuje materiál s vysokou porózitou a tedy vysokou nasákavostí (okolo 50 %), dochází snadněji a ve větším množství ke vzniku korozních produktů v místech pouze s hydrofilní popisovou křídou. Obsah potaše v nátěrovém systému v reakci s upravenou popisovou křídou hydrofobním sprejem Baťa Smart Step může zlepšit její hydrofobní vlastnosti a zpomalení korozního procesu v místě popisu.

Z výsledků měření vyplývá, že nedocházelo jen ke změně chemického složení prachových částic, které byly v kontaktu s vodným roztokem po následném vysušení, ale současně docházelo k chemickým reakcím, což se potvrdilo změnou barevného odstínu na povrchu částice substrátu, ale zejména se potvrdilo, že hydrofobní částice neurychlily proces korozního napadení substrátu, naopak chránily před průnikem korozního prostředí k substrátu. Naopak hydrofilní částice podpořily průnik korozního prostředí k substrátu a urychlily korozní proces v místě, kde se tyto částice vyskytovaly. Z toho vyplývá, že v případě použití pouze hydrofilní křídý pro popis hutních výrobků

a podobných prachových částic a nečistot, dojde k urychlení korozního procesu a degradaci nátěrového systému. Hydrofobní křída a cihlové částice včetně podobných prachových částic a nečistot zpomalí korozní proces a degradaci nátěrového systému.

16 SPOLEČENSKÝ PŘÍNOS

- Prokázání vlivu potřeby čistoty povrchu ocelového substrátu zejména bez přítomnosti prachových částic hydrofilního charakteru před aplikací nátěrového systému. Respektování normy ČSN ISO 8502-3 pro stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro aplikaci nátěrových systémů.
- Při použití hydrofobních popisových materiálů dojde ke zpomalení korozního procesu na povrchu ocelového substrátu a snížení ekonomických nákladů spojených s opravami hutních výrobků.
- Použitím upravených popisových materiálů na bázi hydrofobie se sníží ekonomické ztráty způsobené následnými opravami povrchu substrátu.
- Stanovení hodnocení typu prachových částic ulpělých na povrchu ocelového substrátu před aplikací nátěrového systému zejména v externích podmínkách.
- Zabráněním koroze se sníží ekonomické ztráty při zpětném návratu součástí a následné opravě hutních výrobků.

17 CONCLUSIONS

The aim of dissertation thesis was study to investigate the influence of the purity of the substrate surface for corrosion resistance of the coating system. Due to the requirements of the present time for use of coating systems and Council Directive of the European Parliament 2004/42 / EC is required to use coating systems with low VOC content and are therefore preferred water-soluble paints. The above and experimentally verified transport coating system provided after application to metal products corrosion protection for at least 3-6 months in aggressive corrosive environments C5 - CX if the technology of its application adhered according Pat. No. 304 190. Dissertation thesis study the problem of the influence of dust particles adhering to the substrate surface for corrosion and adhesion properties of the transparent transport of the applied coating system. Along with the problems of corrosion due to dust under the applied coating is subject to experimental work influence the technical chalk inscription, which applies to descriptions of metal parts for transport and subsequent assembly on site. Corrosion that arises under technical describe chalk is currently a priority issue solved, as this devalues the corrosion affects the description and assembly technology.

The theoretical part was analyzed the available evidence on the impact of the purity of the substrate surface for corrosion resistance of the coating system, the effect of dust on the corrosion deteriorate the surface of the substrate, the behavior of dust particles to the substrate surface and technology of protective surfaces from corrosive attack for short or long term corrosion resistance. On the basis of theoretical studies, it was concluded that these particles can behave in an aqueous medium which is a solvent component waterborne coating systems as particles which are obtained by flotation technology. There may occur the principle of the flotation process of micro, nano dimensions and volumes. On the basis of this theoretical result, it was concluded that it would be appropriate to experimental reality check whether there is the principle of flotation takes place or not and to what extent the impact of devaluation on the substrate. On the basis of experimental tests have been established and methodology of experimental work.

In the experimental part of the thesis was designed not only evaluation methodology nature of the surface roughness, surface contamination, which used dust particles of various materials such as crushed brick components descriptive chalk or

metal dust particles after blasting. Dust particles were divided into two groups. Particles that have been marked as hydrophilic that particles are able to bond together the water and the particles that have been treated with a special spray for repelling water and was designated as hydrophobic particles. These particles were subsequently applied to the substrate and subsequently applied coating system, which was cured according to the prescribed patent. In part of the samples was evaluated the adhesion of the coating system, and then the samples were subsequently placed in a salt chamber for 3, 6, 12 hours and to the condensation chamber for 1.5, 3 and 6 hours. For individual samples was performed photographs before and after exposure in corrosive chambers including photographs on cross-sections.

Description technical hydrophilic chalk is most apparent after corrosion tests for samples on a hydrophilic layer a layer of chalk treated hydrophobic particulate chalk. For samples which were only hydrophilic layers chalk occurred after corrosion tests to describe degradation due to corrosion.

Based on the results of the evaluation of the nature of the corrosion products at the interface between the substrate-coating system by optical microscopy and SEM analysis it was necessary to make additional measurements. Due to the design of specific bounded by dark lines, viz. Fig. 82, in the vicinity of hydrophilic particles of chalk compared to hydrophobic particles of chalk, was subsequently conducted another experiment using a magnetic field to determine the magnetic properties of corrosion products in experimental samples K02 and K03.

From the results of measurement of the magnetic parameters of samples labeled K02 and K03 it has been found that the corrosion products are well removable weighing 0.0016 g of the sample K02 (sample only the chalk particles in the hydrophilic site technical description) exhibit strong magnetic properties. Conversely, the corrosion products weighing 0.0007 grams very difficult to remove from the sample K03 (sample with a combined layer of chalk hydrophilic and hydrophobic particles in place of technical description) showed magnetic behavior.

The volume ratio of hydrophilic component to the volume of chalk to paint system and the ratio of hydrophilic and hydrophobic mixture of chalk to volume paint system affects the resulting corrosion attack.

Based on the results of the additional measurements can be concluded that there has been in the process of applying the coating system to the substrate with a description of the technical chalk and its further processing according to Pat. No. 304 190 to complex chemical reactions. Application of the coating system is carried out

on the substrate surface at 40 °C followed by curing the coating system at a temperature of 70-80 °C for 20 min and then free cooling in air. Since the gypsum (calcium sulfate dihydrate), which is contained in describing chalk and simultaneously used as the starting material for the production of gypsum, may during application and curing of the coating system lead to its wet dehydration (coating system comprises water) at 80 °C and thus to the formation of gypsum (polyhydrate alpha). Subsequently, when contact with the corrosive environment containing water occurs rehydration of gypsum, which is accompanied by an exothermic reaction during which the plaster is heated, increases in volume, thus expands to re-form calcium sulfate dihydrate. Possible formation of gypsum in the coating system, the solidification and return rehydration to gypsum, which accelerates the chlorides or sulfates, lower ratio of water to plaster, and the temperature to 37 °C, correspond to the conditions for corrosion tests. In the process of reaction of gypsum with water while the formation of the sulfuric acid, which promotes the formation of corrosion products. The heat released during rehydration ranges from 17.2 to 19.3 kJ / mol. Constant changes in gypsum plaster and vice versa, may change the hardness inscription chalk, mechanical stress of the coating, together with the stresses associated with a change volume during rehydration of gypsum, which can lead to cracking of the coating and thereby to facilitate penetration of the corrosive environment to the steel substrate. Since the coating system comprises a salt of octadecanoic, potash, hydrophobic aerosil, an acrylic component and other organic components including water, it can be assumed that there is in the process of curing the paint at a temperature of 40-80 °C (surface temperature of the steel substrate during application coating and curing temperature of the coating) for the polymerization and the formation of chemical compounds similar to the organic glass (polymerization temperature of methyl methacrylate prepolymer is in the range 30-130 °C) by the corrosion product showed magnetic properties. Since plaster is a material with high porosity and therefore high water absorption (about 50 %) occurs more easily and in larger quantities to the formation of corrosion products in places with only hydrophilic describe chalk. Potash content in the coating system in response to adjusted describe the hydrophobic chalk spray Bata Smart Step can improve its hydrophobic properties and slowing the corrosion process at the site description.

The results indicate that prevent only changing the chemical composition of the dust that has been in contact with an aqueous solution after the subsequent drying, but simultaneously in a chemical reaction, which was confirmed by changing the color shade on the particle surface of the substrate, but in particular it was confirmed that

hydrophobic particles accelerate, nuclear process of corrosion of the substrate, while protecting against the penetration of corrosive environment to the substrate. Conversely, hydrophilic particles promote penetration of the corrosive medium to the substrate and accelerate the corrosion process at the point where the particles occurred. It follows that in the case of using only the hydrophilic chalk description of metallurgical products and similar dust and dirt will accelerate the corrosion process and degradation of the coating system. Hydrophobic chalk and the brick-like particles, including dust particles and debris slows the corrosion process, and degradation of the paint system.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KIZLINK, J., *Chemická technologie.*, 1. vyd. Brno: PC-DIR spol s.r.o., Brno 1997, 107 s. ISBN 80-214-0899-5.
- [2] KOPAŇÁKOVÁ, S. *Studium tolerantnosti povrchu substrátu k povlakovým systémům obsahující částice malých rozměrů.* Ostrava 2013, 28 s., Fakulta strojní, VŠB – TU Ostrava, Disertační práce. Vedoucí Disertační práce Podjuklová, J.
- [3] KREISLOVÁ, K., GEIPLOVÁ H., *Technická zpráva I projektu TA ČR TA01031314 Optimalizace bezpečnosti a životnosti existujících mostů. 2011.*
- [4] MÍŠEK, B., HRSTKA, J., *Strojírenské materiály a povrchové úpravy - Koroze a povrchová úprava kovů*, Praha: SNTL 1984, 208 s., ISBN 80-248-1842-9.
- [5] MOHYLA, M. *Technologie povrchových úprav kovů.* Učební texty, VŠB - TU Ostrava, 2000, 2.vydání, 156 s. ISBN 80-7078-953-0.
- [6] PODJUKLOVÁ, J., *Speciální technologie povrchových úprav I*, Ostrava: Editační středisko VŠB - TU Ostrava, 1 vydání, 1994, 76 s., ISBN 80-7078-235-8.
- [7] STRNADEL, B., *Nauka o materiálu II. Degradací procesy a design konstrukčních materiálů*, Ostrava: Editační středisko VŠB - TU Ostrava, 1 vydání, 2008, 280 s.
- [8] STRÍBRNÁ, E., *Rozvoj materiálové základny. Degradace materiálů - koroze kovů*, Praha: Sivo 1854, 1982, 57 s.
- [9] SVOBODOVÁ, J. *Analytické metody. Nanotechnologie.* Metodická příručka, Centrum pro studium vysokého školství, Praha, 2015, 21 s. ISBN 978-80-86302-72-0.

- [10] SUCHÁNKOVÁ, K. *Studium vlivu předúpravy kovového substrátu na protikorozní ochranu nátěrových systémů obsahující nanoelementy*. Ostrava 2013, 52 s., Fakulta strojní, VŠB – TU Ostrava, Disertační práce. Vedoucí disertační práce Podjuklová, J.

Webové stránky:

- [11] URL:< http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/hesla/hydrofobni_interakce.html> [cit.26.10.2016].
- [12] URL:<http://147.33.74.135/knihy/uid_es002_v1/hesla/interakce_hydrofobni.html> [cit.26.10.2016].
- [13] URL:<http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/hesla/uhel_smaceni.html> [cit.28.03.2016].
- [14] URL < <http://www.1tousenska.cz/sluzby.php?sub=7/>> [cit.27.04.2016].
- [15] URL < https://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid_dusnat%C3%BD > [cit.19.05.2016].
- [16] URL:<https://cs.wikipedia.org/wiki/Povrchov%C3%A9_nap%C4%9Bt%C3%AD> [cit.02.04.2016].
- [17] URL:<<http://www.duurzamelifestyle.com/15-praktijkvoorbeelden-van-biomimicry/>> [cit.8.4.2016].
- [18] URL:< <http://www.enclabmed.cz/encyklopedie/C/JVALP.htm>> [cit.26.10.2016].
- [19] URL:<http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2512_Bumbalek.pdf> [cit.21.03.2016].
- [20] URL:<http://hgfl0.vsb.cz/546/Flotace/webove%20stranky/penova_flotace.htm> [cit.28.3.2016].

- [21] URL:< http://hgfl0.vsb.cz/546/Flotace/text_2.htm> [cit.28.03.2016].
- [22] URL:< <http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>> [cit.12.01.2016].
- [23] URL :<<http://www.hommel-etamic.cz/cz/technicke-informace/drsnost-povrchu-dle-din-en-iso/>> [cit.06.04.2016].
- [24] URL:<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/povrchy%20povlaku.pdf> [cit.04.04.2016].
- [25] URL:<http://www.nanotechshop.cz/ultra_ever_dry_otazky_a_odpovedi.htm> [cit.25.04.2016].
- [26] URL:<http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/t_elchem.htm> [cit.7.3.2015].
- [27] URL:< <http://www.ontola.com/cs/di/hydrofobni-hydrofilni> > [cit.26.10.2016].
- [28] URL:< http://www.pivokonsky.wz.cz/UV/uprava_vod_2.pdf> [cit.26.10.2016].
- [29] URL:<<http://www.vscht.cz/kt/studium/predmety/lae/Kvalhodnokoroze.pdf>> [cit.19.9.2012].
- [30] URL:<https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=55942> [cit.19.9.2012].

Normy:

- [31] ČSN 03 8131. *Kondenzační zkouška v kondenzační komoře*. Praha: ÚNM, Leden 1973.
- [32] ČSN EN ISO 2808. *Nátěrové hmoty - Stanovení tloušťky nátěru*. Praha: Český normalizační institut, 2007.

- [33] ČSN EN ISO 2409. *Nátěrové hmoty - Mřížková zkouška*. Praha: Český normalizační institut, 1992.
- [34] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - struktura povrchu: Profilová metoda - termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, Březen 1999.
- [35] ČSN EN ISO 4628-1. *Nátěrové hmoty - Hodnocení degradace nátěr - Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity změn vzhledu - Část 1: Obecný úvod a systém klasifikace*. Praha, Český normalizační institut, 2004.
- [36] ČSN EN ISO 4628-2. *Nátěrové hmoty - Hodnocení degradace nátěrů - Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzita jednotných změn vzhledu - Část 2: Hodnocení stupně puchýřkování*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [37] ČSN EN ISO 4628-3. *Nátěrové hmoty - Hodnocení degradace nátěrů - Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzita jednotných změn vzhledu - Část 3: Hodnocení stupně prorezavění*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [38] ČSN EN ISO 8501-1. *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu - Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [39] ČSN EN ISO 9223. *Koroze kovů a slitin. Korozivní agresivita atmosfér. Klasifikace*. Praha: Český normalizační institut, 1992.
- [40] ČSN ISO 8502-3. *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu - Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání (metoda snímání samolepící páskou)*. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [41] ČSN EN ISO 9227. *Korozní zkouška v umělé atmosféře - zkouška solnou mlhou*. Praha: Český normalizační institut, 1990.

- [42] ČSN EN ISO 16276-2. *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými systémy - Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku - Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez*, Praha: Český normalizační institut, 2008.

Patenty:

- [43] Patent číslo: 304190 - Způsob aplikace vodou ředitelného transparentního laku na hutní výrobek
- [44] Patent číslo: RU 2 441 044 C1 - Ochranný nano-inhibitorový lak

PUBLIKACE AUTORA

- I. BÁRTEK, V., PODJUKLOVÁ, J., LANÍK, T., BŘEZINA, V., SUCHÁNKOVÁ, K., KOPAŇÁKOVÁ, S., ŠRUBAŘ, P., HRABOVSKÁ, K., ZBOŽÍNKOVÁ, I., **HANÁK, M., 5 %**, GLASS-CERAMIC COATING CONTAINING SMALL-SIZED PARTICLES AS AN APPLICATION OPTION IN DENTAL IMPLANTOLOGY. In *3rd International Conference NANOCON 2011*. Ostrava: Tanger, 2011, s. 588-593. Publikace v databázi Web of Science.
- II. BÁRTEK, V., PODJUKLOVÁ, J., LANÍK, T., BŘEZINA, V., SUCHÁNKOVÁ, K., KOPAŇÁKOVÁ, S., ŠRUBAŘ, P., HRABOVSKÁ, K., ZBOŽÍNKOVÁ, I., **HANÁK, M., 5 %**, Sklokeramický povlak s obsahem částic malých rozměrů jako možnost aplikace v dentální implantologii. In *3rd International Conference NANOCON 2011*. Ostrava: Tanger, 2011, s. 98-99.
- III. **HANÁK, M., 40 %**, PODJUKLOVÁ, J., SIOSTRZONEK, R., PAVELKOVÁ, D., KOLDOVÁ, L., HRABOVSKÁ, K. THE INFLUENCE OF SUBSTRATE SURFACE CLEANLINESS ON THE CORROSION RESISTANCE OF COATING SYSTEMS. In *METAL 2015: 24th International Conference on Metallurgy and Materials: full texts of papers: June 3rd-5th 2015, Hotel Voronez I, Brno, Czech Republic, EU*. Ostrava: Tanger, 2015, s. 1058-1061. Publikace v databázi SCOPUS.
- IV. **HANÁK, M., 40 %**, PODJUKLOVÁ, J., SIOSTRZONEK, R., PAVELKOVÁ, D., KOLDOVÁ, L., HRABOVSKÁ, K. THE INFLUENCE OF SUBSTRATE SURFACE CLEANLINESS ON THE CORROSION RESISTANCE OF COATING SYSTEMS. In *METAL 2015: 24th International Conference on Metallurgy and Materials: full texts of papers: June 3rd-5th 2015, Hotel Voronez I, Brno, Czech Republic, EU*. Ostrava: Tanger, 2015, s. 1058-1061. Publikace v databázi Web of Science.

- V. **HANÁK, M., 40 %**, PODJUKLOVÁ, J., SIOSTRZONEK, R., PAVELKOVÁ, D., KOLDOVÁ, L. THE INFLUENCE OF SUBSTRATE SURFACE CLEANLINESS ON THE CORROSION RESISTANCE OF COATING SYSTEMS. *In Surface Engineering 2014: book of abstracts of the international scientific conference: High Tatras, October 23-24, 2014*. Košice: Technická univerzita Košice, 2014, s. 29. Publikace v databázi SCOPUS.
- VI. **HANÁK, M., 40 %**, **IF 0,334**, PODJUKLOVÁ, J., SIOSTRZONEK, R., PAVELKOVÁ, D., KOLDOVÁ, L. THE INFLUENCE OF SUBSTRATE SURFACE CLEANLINESS ON THE CORROSION RESISTANCE OF COATING SYSTEMS. *Materials Science Forum*, 2015, roč. 818, č. May 2015, s. 167-170.
- VII. HRABOVSKÁ, K.; PODJUKLOVÁ, J.; BÁRTEK, V.; LANÍK, T.; ZBOŽÍNKOVÁ, I.; **HANÁK, M., 10 %**, Influence of clay small size on mechanical properties of vitreous enamel coatings. *In 2. mezinárodní konference Nanocon 2010, Olomouc, říjen 2010*, s. 85. ISBN 978-80-87294-18-5.
- VIII. LANÍK, T.; PODJUKLOVÁ, J.; KREISLOVÁ, K.; BÁRTEK, V.; ŠRUBAŘ, P.; SUCHÁNKOVÁ, K.; KOPAŇÁKOVÁ, S.; **HANÁK, M., 5 %**, Construction from weathering steels with paint systems applied. *In METAL 2011. Brno, květen 2011, str. 85*. ISBN 978-80-87294-22-2. Publikace v databázi Web of Science.
- IX. PAVELKOVÁ, D., KOLDOVÁ, L., PODJUKLOVÁ, J., SIOSTRZONEK, R., PĚNIČKA, Z., MENSHIKOV, V., **HANÁK, M., 5 %**, THIN COATINGS APPLIED ON MATERIALS METALLURGICAL PERFORMANCE FOR SHORT - TERM ANTICORROSIVE PROTECTION. *In METAL 2014: 23rd International Conference on Metallurgy and Materials: conference proceedings: May 21st-23rd 2014, hotel Voroněž I, Brno, Czech Republic, EU*. Ostrava: Tanger, 2014, s. 968-972. Publikace v databázi SCOPUS.

- X. PAVELKOVÁ, D., KOLDOVÁ, L., PODJUKLOVÁ, J., SIOSTRZONEK, R., PĚNIČKA, Z., MENSNIKOV, V., **HANÁK, M., 5 %**, THIN COATINGS APPLIED ON MATERIALS METALLURGICAL PERFORMANCE FOR SHORT - TERM ANTICORROSIVE PROTECTION. In *METAL 2014: 23rd International Conference on Metallurgy and Materials: conference proceedings: May 21st-23rd 2014, hotel Voroněž I, Brno, Czech Republic, EU*. Ostrava: Tanger, 2014, s. 968-972. Publikace v databázi Web of Science.
- XI. SIOSTRZONEK, R., PODJUKLOVÁ, J., PAVELKOVÁ, D., KOLDOVÁ, L., **HANÁK, M., 10 %**, HRABOVSKÁ, K. INNOVATIVE THIN COATING INTENDED TO PROTECT NON-FERROUS MATERIALS. In *METAL 2015: 24th International Conference on Metallurgy and Materials: full texts of papers: June 3rd-5th 2015, Hotel Voronez I, Brno, Czech Republic, EU*. Ostrava: Tanger, 2015, s. 970-974. Publikace v databázi SCOPUS.
- XII. SIOSTRZONEK, R., PODJUKLOVÁ, J., PAVELKOVÁ, D., KOLDOVÁ, L., **HANÁK, M., 10 %**, HRABOVSKÁ, K. INNOVATIVE THIN COATING INTENDED TO PROTECT NON-FERROUS MATERIALS. In *METAL 2015: 24th International Conference on Metallurgy and Materials: full texts of papers: June 3rd-5th 2015, Hotel Voronez I, Brno, Czech Republic, EU*. Ostrava: Tanger, 2015, s. 970-974. Publikace v databázi Web of Science.
- XIII. SUCHÁNKOVÁ, K., PODJUKLOVÁ, J., LANÍK, T., BÁRTEK, V., KOPAŇÁKOVÁ, S., ŠRUBAŘ, P., HRABOVSKÁ, K., **HANÁK, M., 5 %**, TARASOV, PV. Study of Transparent Nanocoatings for Application on Metallurgical Production Materials. In *METAL 2012: 21st International Conference on Metallurgy and Materials: conference proceedings*. Ostrava: Tanger, 2012, s. 1080-1085. Publikace v databázi Web of Science.
- XIV. ŠRUBAŘ, P., PODJUKLOVÁ, J., LANÍK, T., BÁRTEK, V., SUCHÁNKOVÁ, K., KOPAŇÁKOVÁ, S., HRABOVSKÁ, K., **HANÁK, M., 5 %**, DVORSKÝ, R. Influence of application technology on the distribution of pigment nanoparticles in a coating system. In *3rd International Conference NANOCON 2011*. Ostrava: Tanger, 2011, s. 1-6.

- XV. ŠRUBAŘ, P., PODJUKLOVÁ, J., LANÍK, T., BÁRTEK, V., SUCHÁNKOVÁ, K., KOPAŇÁKOVÁ, S., HRABOVSKÁ, K., **HANÁK, M., 5 %**, DVORSKÝ, R., KRIVOLAPOVA, NO., MENŠIKOV, VV. STUDY OF THE EFFECTS OF DISTRIBUTION OF PIGMENT NANOPARTICLES ON CORROSION RESISTANCE OF TRANSPARENT COATINGS. In *METAL 2012: 21st International Conference on Metallurgy and Materials: conference proceedings*. Ostrava: Tanger, 2012, s. 1092-1098. Publikace v databázi Web of Science.
- XVI. ŠRUBAŘ, P.; PODJUKLOVÁ, J. LANÍK, T. BÁRTEK, V. SUCHÁNKOVÁ, K. KOPAŇÁKOVÁ, S. HRABOVSKÁ, K. **HANÁK, M. 5 %**, DVORSKÝ, R. KRIVOLAPOVA, N. O. MENŠIKOV, V. V., Study of the Effects of Distribution of Pigment Nanoparticles on Corrosion Resistance of Transparent Coatings. In *METAL 2012. Brno, květen 2012, str. 126*. ISBN 978-80-87294-29-1. Publikace v databázi Web of Science.
- XVII. ŠRUBAŘ, P. PODJUKLOVÁ, J. LANÍK, T. BÁRTEK, V. SUCHÁNKOVÁ, K. KOPAŇÁKOVÁ, S. HRABOVSKÁ, K. **HANÁK, M. 5 %**, DVORSKÝ, R. The effect of application technique on distribution of pigment nanoparticles in a paint system. In *NANOCON 2011. Brno, 2011, str. 120*. ISBN 978-80-87294-23-9.
- XVIII. ŠRUBAŘ, P., PODJUKLOVÁ, J., LANÍK, T., BÁRTEK, V., SUCHÁNKOVÁ, K., KOPAŇÁKOVÁ, S., HRABOVSKÁ, K., **HANÁK, M., 5 %** DVORSKÝ, R. THE EFFECT OF APPLICATION TECHNIQUE ON DISTRIBUTION OF PIGMENT NANOPARTICLES IN A PAINT SYSTEM. In *3rd International Conference NANOCON 2011*. Ostrava: Tanger, 2012, s. 509-515. Publikace v databázi Web of Science.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1 - Materiálový list substrátu S355MC0001

Příloha č.2 - Měření drsnosti

Příloha č.3 - Fotodokumentace experimentálních vzorků Vz.4, Vz.5, Vz.8, Vz.9, Vz.10, Vz.11, Vz.14, Vz.15, Vz.16, Vz.17, Vz.19, Vz.21, Vz.23, Vz.24 v solné komoře

Příloha č.4 - Fotodokumentace experimentálních vzorků K01, K02, K03, K04, K05, K06 v kondenzační komoře

Příloha č.5 - Fotodokumentace povrchu experimentálních vzorků K01, K02, K03, K04, K05, K06 po expozici v kondenzační komoře

Příloha č.6 - Fotodokumentace fázového rozhraní experimentálních vzorků 3, 5, 6 po expozici v kondenzační komoře zkoumané optickým mikroskopem

Příloha č.7 - EDAX analýza fázového rozhraní experimentálních vzorků 3 a 5 po expozici v kondenzační komoře

Příloha č.8 - Protokoly o provedení zkoušek Centrem Nanotechnologií VŠB-TU Ostrava

Příloha č.9 - EDAX analýzy experimentálních prachových částic

Příloha č.10 - Aerosilové složky pro transportní transparentní nanolak použité výrobcem nanolaku